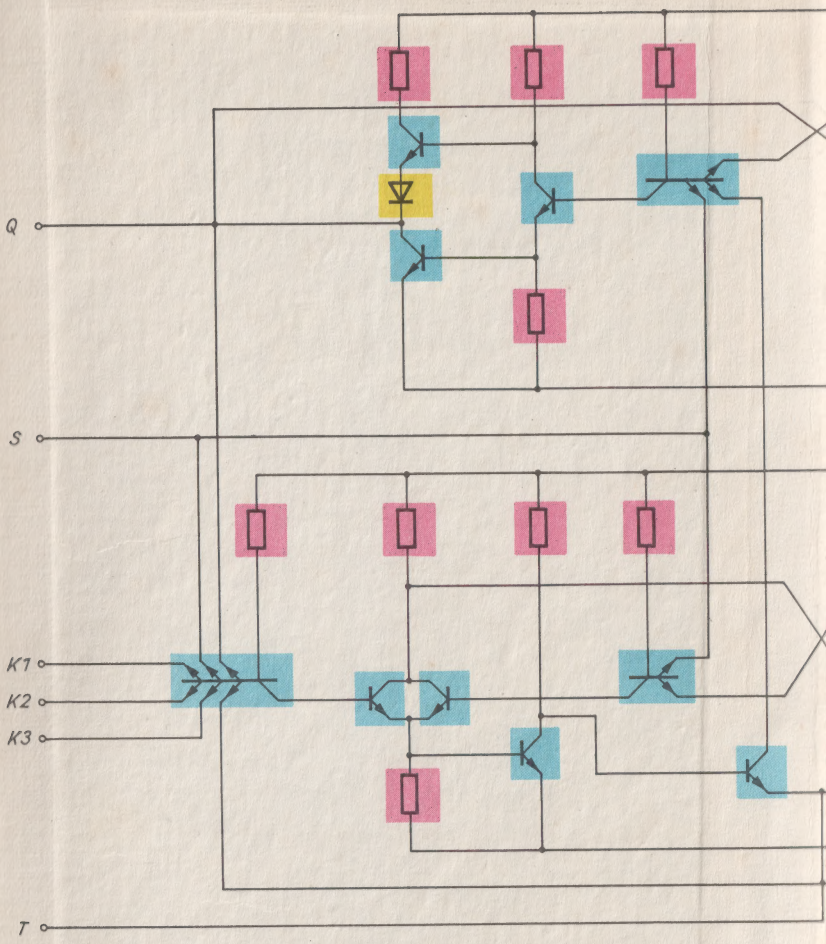
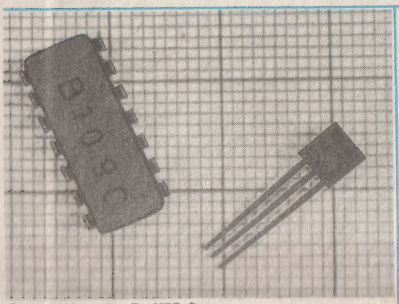
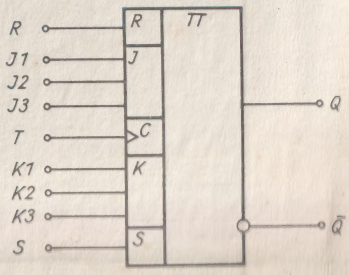
MEYERS
TASCHENLEXIKON

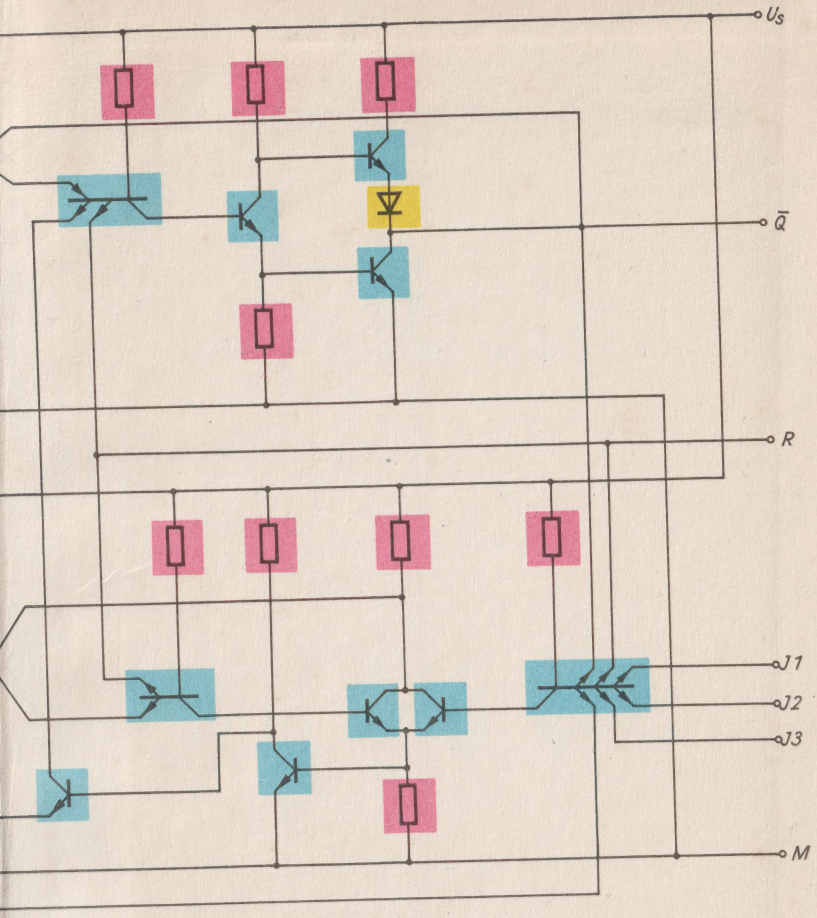
Elektronik – Funktechnik





Schaltkreis D 172 C
(zum Größenvergleich: Schalttransistor SS 218 C)





Eingänge: J1, J2, J3, K1, K2, K3, T, R, S
Ausgänge: Q, $\bar{Q}$
Stromversorgung: U_S = +5V; M = Masse

Schaltbild eines J-K Master-Slave Flip-Flop

nach TGL 16056

Beispiel für mittleren Integrationsgrad
Schaltkreis D 172 C
J-K Master-Slave Flip-Flop
Hersteller: Kombinat Halbleiterwerk Frankfurt (Oder)/DDR

Schaltkreis enthält:

- 20 Transistoren
- 2 Dioden
- 18 Widerstände

Meyers Taschenlexikon Elektronik/Funktechnik

Meyers Taschenlexikon

Elektronik

Walter Conrad

Funktechnik

200 Textabbildungen

1979
VEB Bibliographisches Institut Leipzig

© VEB Bibliographisches Institut, 1972, 1979
4. Auflage, Nachdruck der 3. völlig neubearbeiteten Auflage
Verlagslizenz Nr. 433—130/173/79 — D4/2/78 — LSV 3507
Printed in the German Democratic Republic
Leitender Redakteur: Helmut Kahnt
Bildredaktion: Monika Thiel
Typografie: Helmut Kahnt
Schutzumschlag- und Einbandgestaltung: Rudolf Uhlisch, Leipzig
Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Völkerfreundschaft Dresden
Allg. Redaktionsschluß: Juli 1976
Best.-Nr.: 575 799 8
DDR 10,– M

Vorwort

Die Elektronik, vor einem Menschenalter noch nicht einmal dem Namen nach bekannt, ist in der Epoche der wissenschaftlich-technischen Revolution als zuverlässiger, unentbehrlicher Helfer in nahezu alle Bereiche der Produktion, des Nachrichten- und Verkehrswesens sowie des täglichen Lebens eingedrungen. Entscheidende neue technische Gebiete, wie die Betriebsmeß-, Steuerungs- und Regelungstechnik, die Datenverarbeitungstechnik oder die Raketen- und Raumfahrttechnik, wären ohne Elektronik nicht vorstellbar. Ihre Begriffe begegnen uns täglich in der Fachliteratur verschiedenster Gebiete, in der Presse, in Rundfunk und Fernsehen, in den Ausführungen von Wissenschaftlern, Technikern, Wirtschaftsfunktionären und Politikern. In zahlreichen Studienrichtungen an Hoch- und Fachschulen, Betriebsakademien, in manchen Meisterlehrgängen sowie bei der Ausbildung in einigen Waffengattungen der Nationalen Volksarmee und in der Gesellschaft für Sport und Technik gibt es seit einigen Jahren die Disziplin Elektronik, und mit den Grundlagen dieses Faches wird in unserem Staat jeder Schüler vertraut gemacht.

All denen, die während der Ausbildung und Qualifizierung, beim Selbststudium oder in der Freizeit als Bastler mit der Elektronik in Berührung kommen, soll das vorliegende Taschenlexikon den Zugang dazu erleichtern. Es wendet sich vor allem an Leser, die rasch und zuverlässig vom gehörten oder gelesenen Begriff her orientiert sein möchten, ohne selbst Elektronikfachleute zu sein.

Von jeher ist die Elektronik aufs engste mit der Funktechnik verknüpft. Sie benutzt viele ihrer Bauelemente sowie Grundschaltungen und wirkt, vor allem bei in jüngster Zeit entwickelten Verfahren der Nachrichtenübermittlung, ständig auf die Funktechnik zurück. Daher lag es nahe, beide Gebiete in einem Taschenlexikon zu vereinen. So werden nicht nur Gemeinsamkeiten und Wechselwirkungen deutlich, auch der Leserkreis erweitert sich um alle in der Funkindustrie und -technik Tätigen, um die Funkamateure und nicht zuletzt um zahlreiche Rundfunkhörer und Fernsehzuschauer.

Wie bei jedem Nachschlagewerk war auch bei diesem Taschenlexikon eine Abgrenzung notwendig – und schwierig! Leserkreis und Stoffülle zwangen immer wieder zu Kompromissen. So wurden einesteils gewisse mathematische und physikalische Grundkenntnisse vorausgesetzt, andernteils längere mathematische Herleitungen und weitgehende physikalische Erläuterungen vermieden, insbesondere solche, die Kenntnisse auf dem Gebiet der Höheren Mathematik voraussetzen.

Der Fachmann wird manche Spezialausdrücke vermissen. Sie mußten, sollte das Werk seinem Umfang nach wirklich „Taschen"lexikon bleiben, ebenso wegfallen wie Grundbegriffe und -fragen der Kybernetik, der Nachrichtentheorie u. a., die keine unmittelbare Berührung mit der

elektronischen Technik haben. Sie abzuhandeln, bleibt der Fachliteratur und umfangreicheren Nachschlagwerken vorbehalten.
Prinzip für Auswahl und Darstellung des Stoffs war in jedem Fall, Grundbegriffe der Elektronik und der Funktechnik leichtverständlich und exakt zu erläutern und dabei vor allem die jüngste technische Entwicklung zu berücksichtigen.
Um dieses Prinzip beibehalten zu können, mußte für die vorliegende 3. Auflage das Manuskript völlig neu bearbeitet werden. Begriffe, die durch die rasche Entwicklung der Elektronik an Bedeutung verloren, konnten gekürzt werden. So wurde Platz geschaffen für zahlreiche neue Stichwörter, Ergänzungen und auch Abbildungen besonders aus den aktuellen Bereichen der Halbleiter- und Mikroelektronik. Besonders Herr Dozent Dr.-Ing. Siegfried Mersiowsky von der Technischen Hochschule Ilmenau – Gutachter auch der vorangegangenen Auflagen – und der Fachredakteur, Herr Dipl.-Ing. Kahnt, haben auch diesmal wieder das Vorhaben des Autors durch viele Ratschläge und Hinweise unterstützt und gefördert. Ihnen sei ebenso aufrichtig gedankt wie – im voraus – allen Lesern, deren kritische Hinweise gern erwartet und berücksichtigt werden.

Eisenach, Sommer 1976 Walter Conrad

Hinweise

Das Taschenlexikon ist nach den üblichen lexikographischen Gesichtspunkten aufgebaut worden. Die Einordnung der Stichwörter geschah alphabetisch vom ersten bis zum letzten Buchstaben, auch wenn ein Stichwort aus mehreren Wörtern besteht. Solche Stichwörter stehen im allgemeinen unter dem Anfangsbuchstaben des ersten Wortes, z. B. „Barkhausensche Röhrenformel" unter „B". Substantive werden in der Regel im Singular gebracht; nur in den Fällen, in denen sich der allgemeine oder fachliche Sprachgebrauch des Plurals bedient, steht dieser, z. B. „Funkstörungen". Die Umlaute ä (ae), ö (oe) und ü (ue) werden wie die Vokale a, o, u behandelt. Wie in der technischen Literatur heute bevorzugt, wurde die F-Schreibweise, vor allem bei Zusammensetzungen mit „Foto-", gewählt.

In der Mehrzahl der Fälle werden zusammengesetzte Stichwörter unter dem Grundwort abgehandelt, ohne daß auf dieses besonders verwiesen wird. So wird z. B. „Verkehrsradar" unter „Radar" beschrieben. Man überlege also, wenn man ein Stichwort nicht findet, unter welchem Grundwort es abgehandelt sein könnte, und schlage dort nach!

In den einzelnen Artikeln ist das Stichwort jeweils abgekürzt, z. B. „A." für „Antenne", Abkürzungen sind im allgemeinen unter dem vollen Namen abgehandelt, z. B. „ILS" unter „Instrumentenlandesystem"; eine Ausnahme bilden solche, die in den täglichen Sprachgebrauch eingegangen sind, wie „Radar".

Für Verweise auf andere Stichwörter wird der Verweispfeil „↑" gesetzt. „Vgl." bedeutet, daß in dem im folgenden genannten Artikel Weiterführendes oder im weiteren Sinne Dazugehörendes gesagt wird.

Bei Zahlenangaben, die mit „z. B." gekennzeichnet sind, handelt es sich um gegenwärtig typische, übliche technische Werte.

Abkürzungen

Abb.	Abbildung	Kurzz.	Kurzzeichen
Abk.	Abkürzung	KW-	Kurzwellen-
allg.	allgemein (-e, -er, -es)	LW-	Langwellen-
ausschl.	ausschließlich	*m*	maskulin (männlich)
bes.	besonders (-e, -er, -es)	max.	maximal
betr.	betreffend	min.	minimal
Bez.	Bezeichnung	MW-	Mittelwellen-
bez.	bezeichnet (-e, -er, -es)	*n*	Neutrum (sächlich)
bzgl.	bezüglich	NF-	Niederfrequenz-
bzw.	beziehungsweise	o. a.	oder andere(s)
d. h.	das heißt	o. ä.	oder ähnlich(es)
engl.	englisch	sog.	sogenannte (-er, -es)
einschl.	einschließlich	svw.	soviel wie
entspr.	entsprechend (-e, -er, -es)	u. a.	und andere(s), unter anderem
evtl.	eventuell	UHF	Ultra High Frequency
f	feminin (weiblich)	UKW	Ultrakurzwelle
franz.	französisch	urspr.	ursprünglich
gegr.	gegründet	usw.	und so weiter
griech.	griechisch	u. U.	unter Umständen
HF-	Hochfrequenz-	UV-	Ultraviolett-
i. allg.	im allgemeinen	vgl.	vergleiche!
i. e. S.	im engeren Sinne	VHF	Very High Frequency
IR-	Infrarot-	z. B.	zum Beispiel
insbes.	insbesondere	ZF-	Zwischenfrequenz-
i. w. S.	im weiteren Sinne	z. T.	zum Teil
Jahrt.	Jahrtausend	z. Z.	zur Zeit
Jh.	Jahrhundert	↑	Verweispfeil

Grafiker und technische Zeichner

Eitrich, I., Karl-Marx-Stadt · Pippig, G., Großdeuben · Weitzmann, W., Leipzig

Fotografen

Schnabel, H./Knorr, B.

Abgleich: einmaliges Einstellen von Bauelementen oder -gruppen elektronischer Geräte nach ihrer Fertigstellung oder Instandsetzung auf durch die Schaltung vorgegebene elektrische Werte. So wird die Spannung durch einen veränderbaren Korrekturwiderstand, die Induktivität durch Lageänderung eines ferromagnetischen Spulenkerns, die Kapazität durch parallelgeschaltete Korrekturkapazitäten auf den Sollwert gebracht. Schwingungskreise und Bandfilter müssen auf bestimmte Frequenz oder Bandbreite, auf Übereinstimmung mit den Bez. einer Skale oder auf einen innerhalb eines gegebenen Frequenzbands gleichbleibenden Frequenzunterschied (vgl. Misch-und-Oszillator-Stufe) abgeglichen werden. Die zum A. notwendigen Wechselspannungen liefern Meßsender oder Tonfrequenzgeneratoren, während zur Anzeige Elektronenstrahloszillographen oder Drehspulinstrumente dienen.

Ablenkempfindlichkeit und **-faktor** ↑ Oszillographenröhre.

Ablenkstufe: Baugruppe zur Erzeugung der Ablenkspannungen bzw. -ströme für Elektronenstrahlröhren. Verbreitet sind vor allem A., die den Elektronenstrahl zeitproportional über den Bildschirm führen und anschließend innerhalb einer sehr kurzen Zeitspanne an den Ausgangspunkt zurücklenken. Die dazu nötigen sägezahnförmigen Ströme bzw. Spannungen (bei elektromagnetischer bzw. -statischer Ablenkung) werden in ↑ Sägezahngeneratoren erzeugt, deren Frequenz durch Wechselspannungen oder Impulsfolgen von außen synchronisiert wird.

In Bild- und Bildaufnahmeröhren wird der Elektronenstrahl durch die Horizontal-A. zeilenweise abgelenkt; durch die Vertikal-A. wird Zeile unter Zeile gesetzt und nach einem Halbbild (vgl. Zeilensprungverfahren) der Elektronenstrahl an den Bildanfang zurückgeführt. Horizontal- und Vertikal-A. werden von den im BAS- bzw. FBAS-Signal enthaltenen Synchronisierimpulsen gesteuert. Die A. für die elektromagnetische Strahlablenkung in Fernsehempfängern bestehen aus einem Oszillator und einer Endstufe für die Ablenkströme. Die unterschiedlichen Ablenkfrequenzen (z. B. 50 Hz für die Vertikal-, 15 625 Hz für die Horizontalablenkung) bedingen Unterschiede im Aufbau der A. Diese werden mit Elektronenröhren oder Halbleiterbauelementen bestückt.

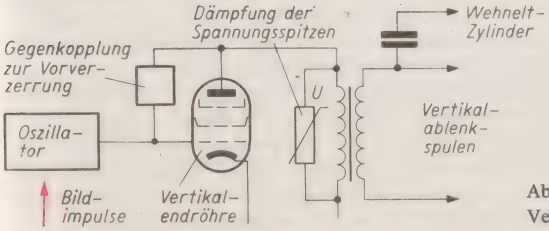


Abb. 1: Vertikalablenkstufe

Vertikal- oder *Bild-A.* (Abb. *1*): Oszillator ist ein ↑ Sperrschwinger, mitunter ein ↑ Multivibrator für 50 Hz, synchronisiert von den dem ↑ Amplitudensieb entnommenen Bildimpulsen. Die sägezahnförmige Ausgangsspannung des Oszillators steuert die *Vertikalendstufe*. In ihrem Anodenkreis liegt ein Ausgangstransformator, dessen Sekundärseite die Vertikal-Ablenkspulen speist. Verzerrungen der Sägezahnform im Ausgangstransformator werden durch eine gegensinnige *Vorverzerrung* kompensiert, z. B. durch frequenzabhängige ↑ Gegenkopplung zwischen Anode und Steuergitter der Vertikalendröhre.
Beim schnellen Strahlrücklauf tritt an den Vertikal-Ablenkspulen eine Spannungsspitze auf, die durch den Ausgangstransformator noch hochtransformiert wird. Zu ihrer Dämpfung schaltet man der Primärseite des Ausgangstransformators z. B. einen Varistor parallel. Außerdem wird der Rücklaufimpuls – negativ gerichtet – dem Wehnelt-Zylinder der Bildröhre zugeleitet, um mit Sicherheit eine Strahlverdunklung während des Rücklaufs zu erreichen.
Horizontal- oder *Zeilen-A.* (Abb. *2*): Oszillatoren, die sinusförmige, erst nachträglich in Sägezahnform gebrachte Schwingungen erzeugen, lassen sich für die hohe Zeilenablenkfrequenz bes. stabil ausführen und sind daher weit verbreitet. Es wird eine auf dem Rückkopplungsprinzip beruhende Oszillatorschaltung benutzt; die Umformung der erzeugten Sinusschwingungen übernehmen Widerstand-Kondensator-Glieder oder eine zusätzliche Röhren- bzw. Transistorschaltung. Eine unmittelbare Steuerung durch die Synchronisierimpulse ist wegen der im Vergleich zur Vertikalablenkfrequenz >300fach höheren Horizontalablenkfrequenz schwierig und störanfällig. Daher wird indirekt synchronisiert: Der Oszillator schwingt selbständig, die Frequenz seiner Sägezahnspannung wird mit der Frequenz der drahtlos übertragenen Horizontalablenkimpulse verglichen. Dazu werden in einer Phasenvergleichsschaltung (vgl. Demodulation 2.) Oszillator- und Synchronisierimpulse so zusammen-

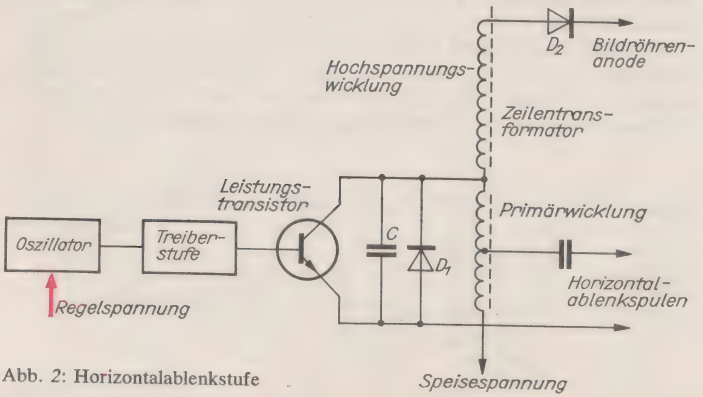


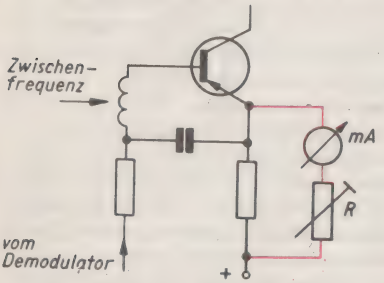
Abb. 2: Horizontalablenkstufe

geschaltet, daß bei Frequenzabweichungen eine Regelspannung für den Oszillator gebildet wird. Sie stimmt ihn nach dem Prinzip der automatischen ↑ Scharfabstimmung nach, bis Oszillator- und Impulsfrequenz wieder übereinstimmen.
Die Ausgangsspannung des Oszillators steuert die Horizontalendstufe, in deren Ausgangskreis der *Zeilentransformator* liegt. Bei Transistorbestükkung muß wegen der nicht leistungslos erfolgenden Steuerung des Leistungstransistors (vgl. Verstärker 1.2.) eine ↑ Treiberstufe zwischen diesen und den Oszillator geschaltet werden. Im Unterschied zur Vertikal-A., bei der die Induktivität der Ablenkspulen vernachlässigt werden kann, spielt diese bei der hohen Horizontalablenkfrequenz eine entscheidende Rolle. Die Horizontalendstufe wirkt wie ein Schalter, der im Takt der Synchronisierung Spannung an die Ablenkspulen legt und abschaltet. Schaltendes Bauelement ist der Leistungstransistor. Sobald er, vom Oszillator über die Treiberstufe gesteuert, leitend wird, verbindet er die Primärwicklung des Zeilentransformators mit der Speisespannungsquelle; der Strom durch die Ablenkspulen steigt während der Einschaltdauer infolge der Induktivität annähernd linear an und läßt den Elektronenstrahl eine Zeile schreiben. Mit dem Abschalten des Leistungstransistors schwingt der aus der Transformatorinduktivität und C gebildete Schwingungskreis an. Die parallel zu C liegende Diode D_1 dämpft bereits die erste negative Halbwelle dieser Schwingungen stark, leitet den nächsten Zeilenhinlauf ein und trägt zur Energieeinsparung in der Horizontalendstufe bei. Außerdem werden die während des Zeilenrücklaufs am Zeilentransformator auftretenden Spannungsimpulse meist zur Gewinnung der hohen Anodenspannung für die Bildröhre herangezogen. Eine zusätzliche Wicklung auf dem Zeilentransformator transformiert sie hoch, ein ↑ Selengleichrichter (TV-Stab) oder eine Hochspannungsgleichrichterröhre richtet sie gleich. Der Heizstrom für die Gleichrichterröhre wird ebenfalls dem Zeilentransformator entnommen.
Ablenkung und **Ablenksystem: 1.** ↑ Bildröhre. – **2.** ↑ Elektronenstrahlröhre.
Ablösegerät ↑ Mehrfachempfang.
Abschirmung: Schutz von Bauelementen (z. B. Spulen, Elektronenröhren), Baugruppen (z. B. Verstärker), Geräten (z. B. Industriehochfrequenzgeneratoren) oder Räumen gegen das Eindringen oder Austreten elektromagnetischer Felder (vgl. Antenneneffekt). Zur A. dienen Wände, Hauben, Kästen u. ä. aus Metall (Kupfer, Aluminium), auch Metallgeflecht, dessen Maschenweite möglichst klein gegenüber der Wellenlänge sein muß. Elektrische Feldlinien können gar nicht in den abgeschirmten Bereich gelangen („Faradayscher Käfig"), da sie auf der metallischen A. enden. Die magnetischen Feldlinien eines Wechselfelds induzieren im Abschirmmaterial Wirbelströme, deren Feld dem äußeren Feld entgegenwirkt. Infolgedessen dringt ein magnetisches Feld um so weniger tief in die A. ein, je höher die Frequenz ist und je besser das Abschirmmaterial leitet. Überschreitet die Wandstärke die Eindringtiefe,

so bleibt der Raum jenseits der A. feldfrei. Während elektrische Felder bereits durch eine sehr dünne Metallschicht (Folie) zurückgehalten werden, durchdringen die magnetischen Feldlinien bei niedrigen Frequenzen eine solche A. Diese muß dann aus ferromagnetischem Stoff hoher Permeabilität, z. B. Eisen, und mit großer Wanddicke angefertigt werden.

Absorptionsfläche ↑ Antenne.

Abstimmanzeige: meist optisches Anzeigen der genauen ↑ Abstimmung eines Empfängers auf die Trägerfrequenz eines Senders. Die A. ist erwünscht, weil bei Empfängern mit Schwundregelung wegen der durch die Regelspannung verursachten Verstärkungsänderung ein Abstimmen nach der Lautstärke allein nicht eindeutig ist und bei Abweichungen von der Trägerfrequenz die Wiedergabe verzerrt wird. Zur Steuerung der A. wird die von der Signalstärke am Empfängereingang abhängige Schwundregelspannung herangezogen.



Abstimmanzeige im Transistorempfänger

In röhrenbestückten Rundfunkempfängern liegt die Schwundregelspannung als Steuerspannung zwischen Katode und Gitter einer *Abstimmanzeigeröhre* (*magisches Auge*), einer speziellen Elektronenröhre, deren von der Steuerspannung beeinflußter Elektronenstrom einen dieser entspr. Teil (sektor-, balken- oder fächerförmig) eines kleinen, grünlich fluoreszierenden Leuchtschirms erhellt bzw. abschattet. Auch kann zur A. ein Strommeßinstrument in den Anodenkreis einer schwundgeregelten Röhre (Zwischenfrequenzverstärker) gefügt werden.

In transistorisierten Geräten schaltet man zur A. ein Strommeßinstrument parallel zum Emitterwiderstand eines schwundgeregelten Transistors. Mit dem Widerstand *R* wird das Instrument so eingestellt, daß es bei fehlender Trägerfrequenz Vollausschlag zeigt. Auch Leuchtdioden, die bei optimaler Abstimmung max. Helligkeit zeigen oder dunkel bleiben, gewinnen Bedeutung zur A.

Abstimmkreis: ↑ Schwingungskreis zum Einstellen der HF-Stufen von Empfängern und Sendern auf die Trägerfrequenz zu empfangender bzw. auszustrahlender Signale. Vgl. Abstimmung.

Abstimmung: Einstellen eines Empfängers, Senders oder einer Antenne auf die für eine drahtlose Nachrichtenverbindung festgelegte Frequenz

durch Verändern der frequenzbestimmenden Parameter Induktivität oder bzw. und Kapazität von Schwingungskreisen (*Abstimmkreisen*). Üblich ist, die *Grob-A.* des Frequenzbands (z. B. MW- oder UKW-Bereich von Rundfunkempfängern) durch Einschalten von Spulen entspr. Induktivität (und evtl. zusätzlicher Kondensatoren) mittels Taste oder Drehschalter vorzunehmen. Mitunter werden die Spulen in einer drehbaren Trommel, dem sog. *Spulenrevolver*, untergebracht, auf deren Umfang die Spulenkontakte angeordnet sind und durch Einrasten geschlossen werden.
Die *Fein-A.* auf eine Frequenz innerhalb des eingeschalteten Frequenzbands oder -bereichs geschieht durch Verändern der Schwingungskreiskapazität mit Hilfe eines Drehkondensators oder einer Kapazitätsdiode. Bei der seltener angewandten *induktiven A.* bleibt die Schwingungskreiskapazität fest, während die Induktivität mit einem ↑ Variometer verändert wird; so geschieht z. B. in der Empfangstechnik die sog. *Permeabilitäts-A.* durch Eintauchen eines meist ferromagnetischen Kerns in die Schwingungskreisspule.
Zum Erleichtern der A. ist man bestrebt, sämtliche abzustimmenden Schwingungskreise gemeinsam zu bedienen, z. B. sämtliche Drehkondensatoren eines Empfängers auf einer gemeinsamen Achse anzuordnen und mit einem Drehknopf einzustellen (*Einknopf-A.*). Voraussetzung hierfür ist, daß die Schwingungskreise bei jeder Stellung ihrer veränderbaren Elemente jeweils alle auf die gleiche Frequenz bzw. den gleichen Frequenzunterschied (↑ Superhet) abgestimmt sind. Da dieser *Gleichlauf* durch konstruktive Maßnahmen allein nicht zu erreichen ist und außerdem z. B. Schaltungskapazitäten und -induktivitäten in die Schwingungskreisparameter eingehen, muß jedes Gerät nach Montage elektrisch korrigiert werden (↑ Abgleich).
Bei der bes. im UKW- und Höchstfrequenz-Bereich zunehmend angewandten *Dioden-A.* benutzt man als veränderbare Elemente Kapazitätsdioden, deren Kapazität von einer an der Diode liegenden Gleichspannung abhängt. Durch Ändern dieser Gleichspannung wird der Schwingungskreis, dessen Teil die Kapazitätsdiode ist, abgestimmt. Vorteile dieser Methode sind: Vermeidung mechanisch bewegter Bauteile, Raumersparnis, die Möglichkeit, Schwingungskreise an der elektrisch günstigsten Stelle im Gerät kompakt anzuordnen und die Bedienungselemente (veränderbare Widerstände bzw. Spannungsteiler) getrennt davon an der zugänglichsten Stelle anzubringen. Auch eine *Fern-A.* ist so leicht möglich.
Bei *A. durch Frequenzvorwahl* (*Sendervorwahl*) werden häufig einzustellende Frequenzen, z. B. diejenigen bevorzugter Hörfunk- oder Fernsehsender, gespeichert und durch Tastendruck abgerufen, z. B. durch Anschalten entspr. Spannungen an eine Kapazitätsdiode. Um den Bedienungskomfort zu erhöhen und die Mängel mechanischer Kontakte zu umgehen, werden die Tasten zunehmend durch eine *Sensorautomatik* ersetzt, bei der leichte Berührung von Kontaktsegmenten den selbsttätigen Abstimmvorgang auslöst (vgl. Berührungsschalter). Die präzise

A. wird dabei – wie oft auch bei Hand-A. – ebenfalls durch Kapazitätsdioden erreicht (vgl. Scharfabstimmung, automatische).
Beim *Sendersuchlauf* wird ein bestimmter Frequenzbereich selbsttätig abgesucht und der Suchvorgang unterbrochen, sobald ein Sender mit genügender Signalstärke einfällt (Bedienungsvereinfachung z. B. für Kraftwagenempfänger). Arbeitsprinzip ist, einen Kondensator, dessen Spannung gleichzeitig eine Kapazitätsdiode steuert, langsam zu laden, wobei der Abstimmbereich des Schwingungskreises durchlaufen wird. Eine vom Demodulator abgeleitete Regelspannung sperrt den Ladestrom, sobald ein Sender einfällt. Wird die Regelspannung durch Tastendruck kurzgeschlossen, so läuft die Suche bis zum nächsten Sender weiter. Der Sendersuchlauf kann so variiert werden, daß nur auf bes. lautstarke Sender oder auf Sender bestimmter Frequenz abgestimmt wird. Bei Sendern für Funkdienste häufig wechselnder Frequenz (z. B. Küstenfunkstationen) ist die A. häufig so weitgehend automatisiert, daß nach Wahl einer Frequenz-Kennziffer alle Vorgänge zur A. nach vorgegebenem Programm selbsttätig und optimal ablaufen und nach wenigen Sekunden abgeschlossen sind.
Digitale-A., bei der die gewünschte Frequenz durch Tasten eingestellt wird, wurde durch integrierte Schaltungen möglich, in denen relativ wenige, hochstabile Ausgangsfrequenzen gemischt (vgl. Mischung), vervielfacht oder geteilt werden. So sind z. B. in modernen Hochleistungsempfängern zwischen 30 MHz und 1,5 MHz 285 000 Frequenzen in 100-Hz-Schritten wählbar.

Achszählanlage: elektronische Einrichtung zur Anzeige, ob und von wie vielen Achsen ein Gleisabschnitt befahren wird. An den Schienen sind berührungsfrei arbeitende Geber angebracht; sie reagieren auf Magnetfeldänderungen, die von einem vorbeilaufenden Rad verursacht werden, mit einem elektrischen Impuls zum Zählgerät, das die Anzahl der Achsen registriert. Jede Achse wird von 2 seitlich versetzten Gebern erfaßt, deren Impulse also mit einer Zeitdifferenz ankommen und so die Fahrtrichtung anzeigen. Um prüfen zu können, ob ein Gleisabschnitt frei ist, wird außerdem je ein Geber an seinem Anfang und Ende angeordnet. Das Zählgerät vergleicht die von ihnen gemeldete Anzahl der einlaufenden und auslaufenden Achsen. Ergibt die Differenz einen von Null abweichenden Wert, ist der Abschnitt besetzt; das Zählwerk blockiert dann selbsttätig den Gleisabschnitt.

Adder ↑ Digitalrechenautomat.

AFC ↑ Scharfabstimmung, automatische.

Akustoelektronik: Teilgebiet der Elektronik, das die Anregung, Ausbreitung und Wandlung akustischer Oberflächenwellen (*Rayleigh-Wellen*, nach dem engl. Physiker *J. W. Rayleigh*) mit Hilfe des ↑ piezoelektrischen Effekts nutzt. In Abb. *1* sind piezoelektrischem Material in kristalliner Form (z. B. Quarz, Lithiumniobat, Kadmiumsulfid) ineinandergreifende, fingerähnliche Elektroden aufgedampft (sog. *interdigitale Wandler*). Wechselspannungen am Eingang regen über das elektrische

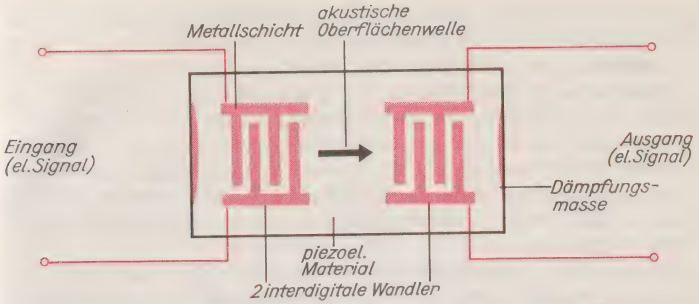


Abb. *1*: Aufbauschema akustoelektronischer Bauelemente

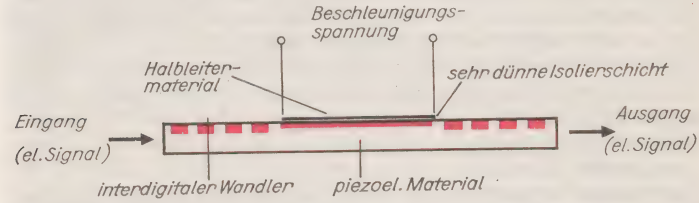


Abb. *2*: Prinzip eines verstärkenden akustoelektronischen Bauelements

Feld zwischen den Fingern akustische Oberflächenwellen an. Diese breiten sich quer zu den Fingern aus und werden am interdigitalen Wandler der Ausgangsseite in elektrische Signale rückgewandelt. Zur Vermeidung störender Oberflächenwellen-Reflexionen sind an den Materialkanten Dämpfungsmassen, z. B. Wachs, aufgetragen.

Wegen der gegenüber der Fortpflanzung elektrischer Wirkungen geringen Ausbreitungsgeschwindigkeit der Oberflächenwellen (je nach Material etwa zwischen 1,75 ... 4 km/s) kann die in Abb. *1* dargestellte Anordnung als ↑ Verzögerungsleitung benutzt werden. Diese läßt sich überdies durch Einschieben von Interdigitalwandlern für unterschiedliche Verzögerungszeiten anzapfen.

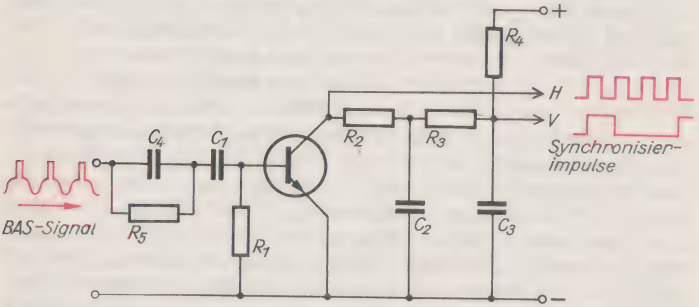
U. a. durch entspr. Bemessung der Elektrodenfinger, deren mittlerer Abstand normalerweise eine halbe Wellenlänge beträgt, lassen sich ↑ Filter konstruieren, deren Durchlaßkurve vorgegebenen Werten auch in Frequenzbereichen nahekommt, die (z. B. ZF-Filter für Fernsehempfänger) mit piezokeramischen Filtern bisher üblicher Bauweise und sich räumlich ausbreitenden akustischen Wellen nicht realisierbar sind.

Eine Verstärkung akustischer Oberflächenwellen ist möglich, indem man in sehr geringem (Bruchteile eines μm) Abstand über der piezoelektrischen Oberfläche eine halbleitende Schicht anbringt, deren Ladungsträger durch eine zusätzliche Spannung so beschleunigt werden, daß sie schneller als die akustische Welle sind (Abb. *2*). Sie treten mit dem

die akustische Oberflächenwelle begleitenden elektromagnetischen Feld in Wechselwirkung und geben (vgl. Wanderfeldröhre) Energie an die Oberflächenwelle ab.
Anordnungen, in denen die A. zur Konstruktion von ↑ Wellenleitern genutzt wird, wurden ebenfalls mit Erfolg erprobt. Da Bauelemente der A. mit Hilfe von Integrationstechnologien einfach und billig hergestellt werden können, sehr geringe Abmessungen (Kantenlänge eines Filters wenige mm) und eine hohe Zuverlässigkeit haben, steigt ihre Bedeutung bes. im Bereich der ↑ Mikroelektronik (z. B. als integrierte Schaltung, Filter-Verstärker).
Akustooptischer Lichtablenker: Einrichtung zur trägheitsarmen Ablenkung und Modulation von (Laser-)Licht. Von einem Ultraschallgenerator erzeugte Schwingungen werden in ein Ablenkmedium (z. B. Jodverbindungen) geleitet und rufen in diesem Druckschwankungen hervor, die den optischen Brechungsindex verändern. Einfallendes (Laser-)Licht wird wie an einem optischen Beugungsgitter abgelenkt, wobei der Ablenkwinkel von der jeweiligen Ultraschallfrequenz abhängt. Die Eignung der A. L. für optische Datenspeicher, Bildabtaster, Schnelldrucker u. a. wird gegenwärtig untersucht und erprobt.
Akzentuierung ↑ Modulation.
Akzeptoren ↑ Halbleiter.
Alarmanlage: selbsttätige elektrische oder elektronische Einrichtung, die bei technischen Anlagen (z. B. Maschinen), in Räumen und anderswo auftretende außergewöhnliche oder gefährliche Zustände akustisch oder optisch anzeigt. Die Auslösung des Alarms erfolgt, indem das Steuerelement der Anlage einen Stromkreis öffnet, schließt oder in seinen Parametern (z. B. Widerstand, Kapazität) verändert (häufig nach vorheriger Verstärkung des vom Steuerelement gelieferten Signals). Steuerelemente sind a) sich öffnende oder schließende Kontakte, z. B. an Türen und Fenstern in *Raumschutzanlagen*, die unbefugtes Eindringen melden, b) Bimetallschalter oder Thermoelemente zur Temperaturkontrolle, z. B. zur Überwachung von selbstentzündlichen Materialien, c) fotoelektronische Bauelemente zur Feststellung des Entstehens oder Verlöschens von Flammen (z. B. zur Brennerkontrolle in Industrieöfen und Ölheizungen), in Ausführung als ↑ Lichtschranke z. B. zur Raumüberwachung (mit Infrarotlicht) oder als Rauchmelder, d) Mikrofone oder piezoelektrische Meßfühler zum Feststellen von Schwingungen oder Erschütterungen, e) kapazitive Meßfühler als Annäherungsmelder (Kapazitätsänderung bei Annäherung verstimmt den Schwingungskreis eines Oszillators und löst dadurch Alarm aus) u. a. Häufig werden mehrere Steuerelemente kombiniert, bei Raumschutzanlagen z. B. Kontakte und Lichtschranken, zur Temperaturüberwachung Bimetallschalter und Rauchmelder. A. werden i. allg. so ausgeführt, daß auch bei einem Defekt Signale ausgelöst werden (Ruhestrombetrieb, ↑ Arbeitsstrombetrieb).
Alarmzeichen ↑ Notzeichen.
Alarmzeichen-Empfangsgerät, automatisches ↑ Notfunkgerät.

Allwellenempfänger: hochwertiges Funkempfangsgerät, das den gesamten KW-, MW-, LW- und Längstwellenbereich (vgl. Tabelle Frequenzbereiche) lückenlos oder mit Ausnahme schmaler Frequenzbänder erfaßt. A. sind für die Aufnahme verschiedener Betriebsarten (z. B. Funktelegrafie, -telefonie, Einseitenbandverfahren) eingerichtet und werden für den Funkbetrieb selbst sowie im Funküberwachungsdienst eingesetzt. A., die das gesamte für Funkdienste genutzte Frequenzspektrum – von Mikrowellen bis zu Längstwellen – aufnehmen können, gibt es noch nicht.
Amateurfunk: Funkverkehr im KW- oder UKW-Bereich, der nicht kommerziellen oder öffentlichen Zwecken dient, sondern von *Kurzwellen-* oder *Funkamateuren* ausgeübt wird, die sich aus Liebhaberei mit Funktechnik und -betrieb befassen. A. wird als Sport betrieben, dient dem Erwerb funk- und betriebstechnischer Kenntnisse, liefert wertvolles wissenschaftliches Material (z. B. Empfangsbeobachtungen), bewährte sich häufig in Notfällen und bei Naturkatastrophen. Die Entdeckung des KW-Bereichs für Funkfernverbindungen ist ein Verdienst des A.
Die Formen des A. sind vielfältig. Neben Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zwischen Funkamateuren über größte Entfernungen werden internationale und nationale Wettbewerbe veranstaltet, bei denen bestimmte technische oder betriebstechnische Bedingungen zu erfüllen sind. Für diese Wettbewerbe werden Diplome ausgegeben, während zustandegekommene Verbindungen der Funkamateure untereinander durch Austausch von *QSL-Karten* (QSL: internationale Funkbetriebsabk. für „Quittung") bestätigt werden, die neben dem ↑ Rufzeichen der Station technische Daten und häufig graphisch-künstlerische Motive enthalten.
A. wird als Funktelegrafie, -telefonie, -fernschreiben und Amateur-Fernsehen durchgeführt. Er ist durch internationale Vereinbarungen und nationale Vorschriften geregelt, die sichern, daß der A. einerseits öffentliche Funkdienste nicht behindert und andererseits durch diese möglichst wenig beeinträchtigt wird. So darf A. nur auf bestimmten Frequenzbändern (↑ Frequenzverteilungsplan) durchgeführt werden. Die Übermittlung von Nachrichten, die in den Bereich der staatlich-öffentlichen Nachrichtenmittel fallen (z. B. Telegramme), ist untersagt. Zum Betreiben eines A.senders ist eine Genehmigung erforderlich, deren Erteilung von dem durch eine behördliche Prüfung zu erbringenden Nachweis fachlicher und betriebstechnischer Kenntnisse und von einer technischen Abnahme der Funkanlage abhängt. Ausbildung, Förderung und Betreuung der Funkamateure obliegen in der DDR der Gesellschaft für Sport und Technik. Sie unterstützt die Funkamateure durch Lehrgänge und Zirkel, richtet in Betrieben, Lehrstätten, Klubhäusern u. a. Klubstationen ein, organisiert Wettbewerbe, die technische Weiterbildung und die internationalen Beziehungen zwischen den Funkamateuren.
AM/FM-Empfänger ↑ Superhet.
Ampex-Verfahren ↑ Fernsehaufzeichnung.
Amplitude ↑ Schwingung.
Amplitudensieb, *Impulsabtrennstufe*: Baustufe eines Fernsehempfängers

zur Abtrennung (und Unterdrückung) des Bildsignals von den Synchronisierimpulsen, beruhend auf dem Amplitudenunterschied zwischen beiden. In der Abb. ist der Transistor wegen fehlender Basisvorspannung zunächst gesperrt, wird jedoch durch das positiv gerichtete BAS-Signal geöffnet. C_1 wird geladen und entlädt sich zwischen den Synchronisierimpulsen nur geringfügig über Basis-Emitter-Strecke und R_1. Es entsteht eine Vorspannung, die den Transistor zwischen Synchronisierimpulsen nahezu sperrt und Kollektorstrom nur während der relativ hohen Impulsamplituden fließen läßt. Dieser ruft im Impulsrhythmus Spannungsabfall an den Widerständen R_2, R_3, R_4 hervor. R_2, C_2 sowie R_3 und C_3 bilden ↑ Integrierglieder, mit deren Hilfe Horizontal- und Vertikalimpulse wegen ihrer unterschiedlichen Impulsdauer getrennt werden. Die Wirkung des A. wird verbessert, wenn ihm eine Begrenzerstufe (↑ Begrenzer) folgt. Sie schneidet z. B. Störspitzen ab, die die Impulsdächer (↑ Impuls) überragen. Die Trennung nach Horizontal- und Vertikalimpulsen geschieht dann zweckmäßig nach der Begrenzung.



Amplitudensieb

Analog-Digital-Umsetzer, *Analog-Digital-Wandler*: Einrichtung zum Umwandeln analoger Signale, z. B. sich stetig ändernde Spannungsamplituden, wie sie als Ausgangsgröße von Meßwertaufnehmern oft auftreten, in digitale Signale, z. B. Impulsfolgen. So lassen sich lineare oder Winkelbewegungen (z. B. an Werkzeugmaschinen) mittels Strichlinealen bzw. Skalen und fotoelektronischer Abtastung oder auch durch magnetisch induzierte Spannungsimpulse erfassen, wobei die Kombination der Abtastvorrichtung mit einem ↑ Zeitgeber Geschwindigkeitsmessungen ermöglicht.

Unter den elektronischen Verfahren ist das *Sägezahnverfahren* (Spannungs-Zeit-Verfahren) verbreitet: Ein ↑ Sägezahngenerator mit möglichst linearem Spannungsanstieg gibt bei Beginn des Sägezahnverlaufs über eine ↑ Torschaltung Impulsen konstanter Impulsfolgefrequenz den Weg zu einer ↑ Zählschaltung oder Steuervorrichtung frei. Die Torschaltung sperrt selbsttätig, sobald zu messende Spannung und Sägezahnspannung gleich sind. Die abgezählten Impulse sind ein Maß für die zu messende

Spannung. Bei anderen Methoden benutzt man eine ↑ Codierröhre oder schaltet die zu messende Spannung und eine sich selbsttätig stufenweise ändernde Vergleichsspannung gegeneinander; die bis zur Spannungsgleichheit nötigen Schaltstufen werden gezählt. A. werden vor allem benutzt, um Signale für die digitale Meßwertübertragung und Eingangsgrößen für digital arbeitende ↑ Prozeßrechner zu liefern. Sie sind, entspr. abgewandelt, auch für Pulscode-Modulation (↑ Modulation 4.4.) unentbehrlich.

Digital-Analog-Umsetzer oder *-Wandler* sind Einrichtungen zur Umwandlung digitaler in analoge Signale. Sie enthalten z. B. einen Schrittschaltmotor, der von den digitalen Signalen gesteuert wird und dabei den Schleifer eines Potentiometers bewegt, oder Gruppen von Widerständen, die den codierten digitalen Signalen entsprechen und durch einen elektronischen Umschalter zu- und abgeschaltet werden. Digital-Analog-Umsetzer werden z. B. benötigt, um die Ausgangswerte von digital arbeitenden Prozeßrechnern in analoge Größen für Stellglieder umzusetzen, um Signale für die stetige Steuerung von Werkzeugmaschinen zu erhalten, Zählergebnisse analog zugänglich zu machen usw.

analoge Anzeige ↑ digitale Anzeige.

Analogierechenautomat, *Analogrechner*: elektronischer Rechenautomat, in dem die Rechengrößen stetig veränderliche Funktionen sind und das zu untersuchende mathematische, physikalische oder technische Problem durch ein elektrisches Modell nachgebildet wird, in dem abhängige Variable durch Spannungen (meist Gleichspannungen), unabhängige durch die Zeit dargestellt werden. Das Verhalten des Modells unter verschiedenen Bedingungen wird untersucht und daraus auf den realen Vorgang rückgeschlossen. Das Problem wird mathematisch formuliert und liegt danach z. B. als gewöhnliche Differentialgleichung vor. Die notwendigen Operationen werden von entspr., als *Rechenelemente* bez. Schaltungen nachgebildet. So wird z. B. eine Multiplikation mit konstanten Faktoren $\leqq 1$ mit als ↑ Spannungsteiler geschalteten *Koeffizientenpotentiometern* vorgenommen. Addition, Subtraktion und Multiplikation von durch Spannungen ausdrückbaren Größen lassen sich ebenfalls mit Widerständen bzw. Potentiometern ausführen. Meist wendet man jedoch hierfür solche Rechenelemente an, deren Grundlage ein sehr stabil arbeitender, durch weitere Bauelemente oder Schaltungszweige ergänzter Operationsverstärker (vgl. Verstärker 3.3.) ist. Durch sein Zusammenschalten mit Widerständen ergeben sich *Summatoren* (auch Summierverstärker genannt) zur Bildung der Summe verschiedener Teilspannungen. Durch Wahl entspr. Widerstände können die Teilspannungen mit einstellbaren Faktoren (z. B. 2, 5, 10) multipliziert werden. Ein *Inverter* ist ein Operationsverstärker, der das Vorzeichen einer Eingangsspannung umkehrt, also mit -1 multipliziert. Zur Multiplikation von 2 Funktionen werden *Funktionsmultiplikatoren* angewendet. Sie arbeiten z. B. auf der Grundlage des ↑ Hall-Effekts. Eine andere Möglichkeit besteht darin, mit Dioden nahezu quadratischen Kennlinienverlaufs und Operationsver-

stärkern zu multiplizierende Größen nach der mathematischen Beziehung $x \cdot y = [(x + y)/2]^2 - [(x - y)/2]^2$ zu gewinnen. Die Division wird auf die Multiplikation zurückgeführt. Durch Kombination eines Operationsverstärkers mit einem Widerstand-Kondensator-Glied kann nach dem Prinzip des ↑ Integrierglieds integriert werden. Es können zusätzliche Anfangswerte eingegeben werden oder man erhält die Summe der Integrale mehrerer Eingangsgrößen durch einen *Summenintegrator*. Die Differentiation ist ähnlich durchführbar, wird jedoch aus technischen Gründen häufig durch entspr. Umformulierung der Aufgabenstellung umgangen. Der *Komparator* ermöglicht es, 2 Eingangsgrößen miteinander zu vergleichen.

Funktionsgeneratoren erzeugen Spannung-Zeit-Funktionen, die den Verlauf einer Eingangsfunktion (z. B. einen unregelmäßigen Kurvenzug) nachbilden. Häufig wird der zeichnerisch festgehaltene Kurvenverlauf durch eine fotoelektronische Einrichtung oder den bewegten Leuchtfleck einer Elektronenstrahlröhre abgetastet. Netzwerke aus Halbleiterdioden und Widerständen bilden gegebene Funktionen durch stufenweise Annäherung an den Funktionsverlauf nach. Die Rechenelemente, Funktionsgeneratoren u. a. sind stets mehrfach vorhanden und werden der durchzuführenden Operation entspr. durch Steckerschnüre auf einer *Programmiertafel* miteinander verbunden. Die Rechenergebnisse werden ebenfalls als Spannung-Zeit-Funktionen wiedergegeben. Dazu dienen Elektronenstrahloszillographen, auf deren Bildschirmen die „Lösungskurven" erscheinen und ausgemessen bzw. fotografiert werden können. Langsam ablaufende Vorgänge werden durch einen Koordinatenschreiber festgehalten. Viele A.en setzen die Resultate in digitale Angaben um und drucken diese als Tabelle aus. Die Rechenzeit kann je nach Aufgabenstellung innerhalb bestimmter Grenzen eingestellt werden; beim sog. *Kurzzeitrechnen* liegt sie unter etwa 10 s, beim *Langzeitrechnen* darüber. Der Rechenvorgang kann einmal oder mit einstellbaren Pausen vielfach wiederholt ablaufen (*repetierendes Rechnen*), und zwar entweder im ↑ *Echtzeitbetrieb*, d. h. in zeitlicher Übereinstimmung mit dem Ablauf der zu untersuchenden Vorgänge, oder mit Zeitraffung bzw. -dehnung. A.en arbeiten mit der für viele Zwecke hinreichenden Genauigkeit von 0,1 bis 1%. Sie bieten die Möglichkeit, die Auswirkung sich ändernder Eingangsgrößen sofort und fortlaufend zu erkennen, und werden daher bevorzugt für die Untersuchung dynamischer Probleme, wie Bewegungs- und Schwingungsvorgänge, oder Ermittlung optimaler Lösungen bei technischen und technologischen Prozessen eingesetzt. Neben Universalrechnern stehen Spezialausführungen für abgegrenzte Probleme, z. B. Flugbahnberechnungen, Strömungsvorgänge, Belastung von Bau- und Konstruktionsteilen, Fahrplanaufstellung, zur Verfügung. A.en im Echtzeitbetrieb werden auch als Prozeßrechner und *Simulatoren* eingesetzt. Mit letzteren lassen sich komplizierte Vorgänge und Zusammenhänge am Modell untersuchen und so im voraus mögliche oder optimale Lösungsvarianten finden; ferner können kritische Situationen, die

Auswirkung von Störungen sowie notwendige Gegenmaßnahmen unter verschiedensten Bedingungen im voraus simuliert werden. Daher verwendet man Simulatoren für die Ausbildung von Raumfahrern, Piloten, Kraftfahrern, Radarbeobachtern, Chemieanlagenfahrern u. a.

Anlaufstrom: schwacher Elektronenstrom in einer Elektronenröhre bei gegenüber der Katode spannungsloser oder geringfügig negativer Anode. Er wird durch Elektronen hervorgerufen, die die Katode mit so hoher kinetischer Energie verlassen, daß sie die Anode erreichen, auch wenn diese keine anziehende bzw. sogar eine geringe abstoßende Kraft auf die Elektronen ausübt. Der A. nimmt mit steigender (negativer) Anodenspannung nach einem Exponentialgesetz ab und ist bereits bei wenigen Volt nicht mehr nachweisbar. Für die meisten Anwendungen der Elektronenröhre braucht er nicht berücksichtigt zu werden.

Anode: Elektrode, die mit dem positiven Pol einer Spannungsquelle verbunden ist und Elektronen oder negative Ionen aufnimmt. In ↑ Elektronenröhren oder ↑ Gasentladungsröhren liegt zwischen A. und Katode normalerweise die größte Spannung, die *A.nspannung*. Der über die A. fließende Strom heißt *A.nstrom*. I. allg. umhüllt die A. die übrigen Elektroden einer Röhre. Da sie sich durch den Ladungsträgeraufprall erhitzt, ist oft eine Kühlung nötig (z. B. Schwärzung des A.nblechs, Kühlfahnen, vgl. Senderöhre). Die an der A. durch Elektronen- oder Ionenaufprall in Wärme umgesetzte Leistung heißt *A.nverlustleistung*.

Anodenbasisschaltung ↑ Verstärker 1.1.

Anodenspannung, -strom und **-verlustleistung** ↑ Anode.

Anpassung: Bemessung des Widerstandsverhältnisses zwischen Stromquelle und -verbraucher, z. B. zwischen einer Verstärkerstufe und einem Lautsprecher. Soll zwischen beiden die max. Leistung übertragen werden, so ist *Leistungs-A.* erforderlich. Hat die Stromquelle den Widerstand R_i, der Verbraucher den Widerstand R_a, so besteht Leistungs-A., wenn $R_i = R_a$ gewählt wird; in diesem Fall wird in der Quelle ebensoviel Leistung umgesetzt wie im Verbraucher, der Wirkungsgrad beträgt also nur 50 %. Stimmen R_i und R_a nicht überein, dann kann Leistungs-A. durch *A.sglieder* zwischen Quelle und Verbraucher, z. B. durch Zwischenschalten eines Transformators, eines Katodenverstärkers bzw. einer Transistorstufe in Kollektorschaltung (↑ Verstärker 1.1. und 1.2.), erreicht werden. In der Nachrichtentechnik hat die Leistungs-A. große Bedeutung, damit die meist nur geringe Energie, z. B. von einer Antenne, dem Verbraucher, z. B. einem Empfänger, optimal zugeführt wird.

Anreicherungstyp ↑ Transistor 2.2.

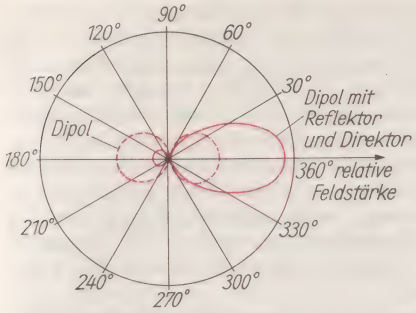
Anrufbeantworter, *Telefonanrufbeantworter*: Zusatzgerät für Fernsprecher, das Anrufe bei Abwesenheit des Angerufenen selbsttätig mit einem vorher eingegebenen Text beantwortet und häufig auch Mitteilungen des Anrufers speichert. A. bestehen aus einem (vereinfachten) Magnetbandgerät und Schalteinrichtungen, die dieses bei bzw. nach Anrufen in Betrieb bzw. wieder stillsetzen. Eine optische Anzeige informiert den Besitzer, ob Anrufe eingingen.

Anschlußbild ↑ Interface.

Antenne: Einrichtung zum Senden bzw. Empfangen elektromagnetischer Wellen. Wird einer A. HF-Energie zugeführt, dann strahlt sie diese als elektromagnetische Wellen aus (*Sende-A.*); wird sie von elektromagnetischen Wellen getroffen, so entstehen in ihr HF-Spannungen bzw. -ströme (*Empfangs-A.*). Die A. ist ein offener ↑ Schwingungskreis, dessen Induktivität und Kapazität über die gesamte A.nlänge verteilt sind, und hat eine von den Abmessungen abhängige Eigenfrequenz. Die Eigenschaften einer A. sind prinzipiell unabhängig davon, ob sie zum Senden oder Empfangen benutzt wird.

Grundform der A. ist der *Dipol*, ein geradliniger Leiter, dessen Länge meist gleich der halben Wellenlänge λ der zu sendenden bzw. zu empfangenden elektromagnetischen Welle (*Halbwellendipol*) oder gleich einem ganzzahligen Vielfachen von $\lambda/2$ ist und in dessen Mitte die HF-Energie eingespeist bzw. abgenommen wird. Strom und Spannung verlaufen längs des Dipols als stehende Welle; an den Dipolenden liegen Stromknoten (Stromstärke = 0) und Spannungsbäuche (Spannungsmaxima). Die vom Dipol ausgehenden elektromagnetischen Wellen sind so polarisiert, daß die elektrischen Feldlinien parallel zum Dipol verlaufen und die magnetischen Feldlinien senkrecht dazu; beim Empfang muß der Dipol ebenfalls parallel zu den elektrischen Feldlinien der elektromagnetischen Wellen ausgerichtet werden. Ein senkrechter Leiter der Länge $\lambda/4$, der am Unterende mit der (als gut leitend vorausgesetzten) Erdoberfläche verbunden ist und dem an diesem Fußpunkt HF-Energie zugeführt oder entnommen wird ($\lambda/4$-Antenne), verhält sich ebenfalls wie ein $\lambda/2$-Dipol, da die Erdoberfläche nahezu als Spiegel wirkt und die fehlende Dipolhälfte ersetzt.

Wichtige Kennwerte einer A.: Das *Richt(ungs)diagramm*, die *Richtcharakteristik*, beschreibt die Richtungsabhängigkeit der Strahlungs- bzw. Empfangseigenschaften. Von seiner räumlichen Ausdehnung wird meist nur ein Horizontalschnitt, mitunter auch ein Vertikalschnitt dargestellt. Man erhält es, indem man in konstanten und gegenüber der Wellenlänge großen Abständen von der A. die Feldstärke mißt und das Verhältnis aus gemessener und max. Feldstärke (d. h. Feldstärke in der Hauptstrahlrichtung) richtungsabhängig in Polarkoordinaten darstellt (Abb. *1*). Die *Absorptions-* oder *Wirkfläche* der A. ist ein Maß für ihre Wirksamkeit und gibt die Fläche an, durch die bei einer ebenen Welle ebensoviel Leistung hindurchtreten würde, wie von der A. max. aufgenommen werden kann. Der *Strahlungswiderstand* ist eine Rechengröße zur Ermittlung der bei bekanntem A.nstrom von der A. abgestrahlten Leistung und würde, am Punkt der Energiezuführung (Speisepunkt) angeordnet, die gleiche Leistung in Wärme umsetzen, wie von der A. ausgestrahlt wird. Bei verlustarmen A. ist der Strahlungswiderstand annähernd gleich dem an diesem Speisepunkt auftretenden Wirkwiderstand. Der *A.ngewinn* einer Richt-A. gibt das Verhältnis der in der Hauptrichtung gesendeten oder empfangenen Strahlungsleistung zur Strah-



Antenne, Abb. *1*: Richtdiagramm (horizontal) eines normalen und eines Dipols mit Reflektor und Direktor

lungsleistung einer Bezugs-A. bei gleicher Sendeleistung an, im Idealfall einer A. ohne jede Richtwirkung, in der Praxis häufig eines Halbwellendipols, und ermöglicht so Vergleiche zwischen verschiedenen Richt-A.

Die Einteilung der zahlreichen A.narten kann – außer nach Sende- und Empfangs-A. – geschehen 1. nach dem Richtdiagramm, 2. nach dem Frequenzbereich, für den die A. bestimmt ist, u. a.

1.1. *Rundstrahler* strahlen in alle bzw. empfangen aus allen horizontalen Richtungen gleichmäßig; ihr horizontales Richtdiagramm ist daher ein Kreis.

1.2. *Richtstrahler* bevorzugen bestimmte Strahlungs- und Empfangsrichtungen; ihre Richtdiagramme haben entspr. unterschiedliche Formen.

1.3. Der in allen Raumrichtungen gleichmäßig wirkende *Kugelstrahler* hat theoretische Bedeutung, ist jedoch technisch nicht realisierbar.

2.1. A. für den *LW-* und *MW-Bereich* gehen meist auf die $\lambda/4$-A. zurück. Als Sende-A. werden neben senkrechten Drähten $\lambda/4$ lange, sog. selbststrahlende Stahlmasten verwendet. Wenn, insbes. bei Langwellen, eine Bauhöhe von $\lambda/4$ nicht möglich ist, wird die A. häufig durch eine *Dachkapazität* ergänzt, ein z. B. rad- oder schirmähnliches leitendes Gebilde an der A.nspitze. Die Kapazität zwischen ihm und der Erdoberfläche vergrößert die Eigenwelle der A. Häufig wählt man als Dachkapazität auch nur einen waagerechten Draht, der in seiner Mitte oder an einem Ende mit dem senkrechten A.nleiter verbunden wird, wodurch die nach ihrer Form benannte und auch zum Empfang benutzte T- bzw. L-A. entsteht.

LW- und MW-Empfangs-A. werden meist nicht auf die zu empfangenden Wellen abgestimmt. Der dadurch verursachte Verlust an HF-Spannung wird i. allg. durch die hohe Verstärkung des Empfängers ausgeglichen. Bedeutung haben vor allem *Stab-A.*, d. h. vertikale A., deren Länge $\ll \lambda/4$ ist. Insbes. für Rundfunkempfang (mit Ausnahme des UKW-Bereichs) werden daneben die verschiedenartigsten metallischen Gebilde als *Behelfs-A.* benutzt.

Die *Rahmen-A.* ist eine vorwiegend für den Empfang benutzte A. mit

ausgeprägter Richtwirkung (vgl. Funkpeilung, Peilanlage). Sie besteht aus einer oder mehreren Drahtwindungen in einem zum kreisförmigen Rahmen gebogenen Rohr. Ihre HF-Ausgangsspannung ist max., wenn die Rahmen- und damit Windungsebene zum Sender weist, min., wenn die Senkrechte auf dieser Ebene zum Sender gerichtet ist. Die Wirkung erklärt sich aus der stellungsabhängigen, durch die magnetische Komponente des elektromagnetischen Senderfelds in der Rahmen-A. induzierten Spannung bzw. aus unterschiedlichen, in den parallel zu den elektrischen Feldlinien verlaufenden Windungsteilen entstehenden Spannungen. Die *Ferrit-A.*, ein mit einer Spule umwickelter Ferritstab, hat die gleiche Wirkung wie eine Rahmen-A. Sie wird häufig in das Gehäuse eines Rundfunkempfängers mit eingebaut.

2.2. KW-A. sind Rund- oder Richtstrahler. Als *Rundstrahler* werden z. B. vertikale $\lambda/4$-A. oder in großer Höhe über dem Boden angeordnete Halbwellendipole verwendet. Das vertikale Richtdiagramm weist Vorzugsrichtungen auf, hervorgerufen durch das Zusammentreffen von direkter und am Erdboden reflektierter A.nstrahlung und durch Gangunterschiede der an einem Punkt im Raum eintreffenden von verschiedenen Teilen der A. ausgehenden Teilwellen. Die Möglichkeit, diese Vorzugsrichtungen zu beeinflussen, nutzt man aus, um den für Funkfernverkehr über die Ionosphäre günstigsten Abstrahlwinkel einzustellen (vgl. Wellenausbreitung). *Richtstrahler* werden bei ortsfesten Funkdiensten auf der Sender- und Empfängerseite, beim KW-Rundfunk auf der Senderseite, häufig angewendet; im letzten Fall ist dadurch Empfang in großer Entfernung mit einfachen Mitteln möglich. Grundelement des Richtstrahlers ist oft der Halbwellendipol, dessen Richtdiagramm in der Dipolebene eine „8" ist (vgl. Abb. *1*). A. aus zahlreichen Dipolen, die in Reihen (in einer Linie) oder bzw. und Gruppen (parallel) in bestimmten Abständen zu einer Dipolwand zusammengestellt sind, haben z. B. Richtdiagramme in Gestalt langgestreckter Keulen. Wird im Abstand von $\lambda/4$ hinter der Dipolanordnung eine 2., aber nicht mit HF-Energie gespeiste gleiche Anordnung angebracht, so wirkt diese reflektierend. Die Dipolwand empfängt und sendet dann nur aus bzw. in der der Reflektorwand abgewandten Richtung.

Langdraht-A. sind Leiter, deren Länge ein Mehr- oder Vielfaches der Wellenlänge beträgt. Ihre Hauptstrahl- bzw. -empfangsrichtung liegt in der Längserstreckung. Die verbreitete *V-A.*, bestehend aus 2 horizontal V-förmig gespannten Langdraht-A., ist eine bes. einfache Richt-A.

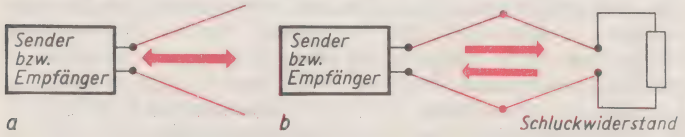


Abb. 2: V-Antenne (a) und Rhombusantenne (b), beide in Draufsicht; Pfeile zeigen die Hauptsende- bzw. -empfangsrichtung

(Abb. 2a). Sie kann zur *Rhombus-A.* ergänzt werden, indem ein 2. „V" an ihre „offenen" Enden gesetzt wird (Abb. 2b). Schließt man das schmale Ende des 2. „V" durch einen sog. Schluckwiderstand ab, dessen Größe derjenigen des Eingangswiderstands entspricht, dann sendet und empfängt die Rhombus-A. nicht nach bzw. aus 2 einander entgegengesetzten Richtungen, sondern nur in bzw. aus einer Richtung.

2.3. *UKW-* und *UHF-A.*, als Rund- und Richtstrahler eingesetzt, strahlen und empfangen vor allem in horizontaler Richtung: vertikale $\lambda/4$-A. werden wegen ihrer geringen Höhe hauptsächlich bei beweglichen Funkdiensten (z. B. als Fahrzeug-A.) eingesetzt. Bei ortsfesten Sendern erreicht man ein angenähert kreisförmiges horizontales Richtdiagramm durch Überlagern der Richtdiagramme von Einzelantennen. Verbreitet sind S e n d e - A. mit einem Träger in Form eines quadratischen Prismas, auf dessen Seiten Dipolfelder aus 4, 8 oder mehr entspr. verbundenen Einzeldipolen angebracht sind und die auch eine straffe Bündelung in der Vertikalen erzielen. Der *Drehkreuzstrahler* besteht aus mindestens 2 einander unter rechtem Winkel kreuzenden Halbwellendipolen; meist sind zur Erzielung eines günstigen vertikalen Richtdiagramms mehrere

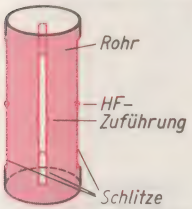


Abb. 3: Rohrschlitz-Antenne mit 4 Schlitzen

Kreuze übereinandergesetzt. Die *Schmetterlings-A.* weist ebenfalls gekreuzte, zu Gebilden von schmetterlingsflügelähnlicher Form zusammengesetzte Dipole auf. Die *Rohrschlitz-A.* ist ein Metallrohr mit mindestens einem gegenüber der Wellenlänge schmalen, z. B. $\lambda/2$ langen, Längsschlitz, dem die HF-Energie in der Mitte seiner Längsseiten zugeführt wird. Er verhält sich wie ein Halbwellendipol, jedoch sind bei senkrecht stehender A. die elektrischen Feldlinien waagerecht polarisiert und umgekehrt. Durch Verteilen mehrerer Schlitze auf dem Rohrumfang sind verschieden geformte Richtdiagramme zu erzielen (Abb. 3).

Vorwiegend als E m p f a n g s - A. ist die nach dem japanischen Physiker *Hidetzugu Yagi* benannte *Yagi-A.* verbreitet (Abb. 4). Sie beruht auf der *Strahlungskopplung* zwischen einem Halbwellendipol und „parasitären" A.nelementen, die die Strahlung reflektieren und so in e i n e r Richtung verstärken, in der anderen schwächen: In Empfangsrichtung hinter dem Dipol wird ein *Reflektor* angebracht, der aus einem oder mehreren senkrecht übereinander angeordneten Stäben (etwa 6 bis 7 % länger als der Dipol) oder aus einer metallischen, häufig siebartigen Reflektorfläche besteht; vor dem Dipol werden ein oder mehrere Stäbe (etwa 5 % kürzer als ersterer) als *Direktor(en)* angebracht. A.ngewinn und Form des Richt-

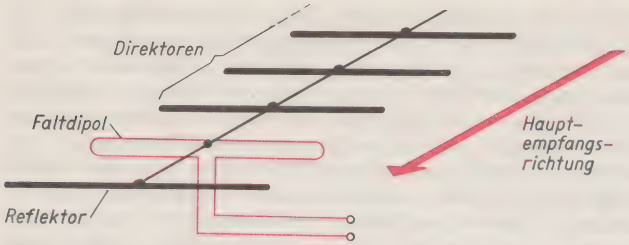
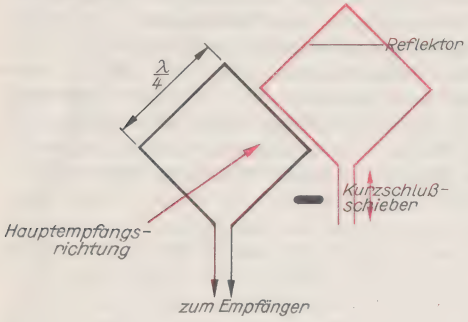


Abb. 4: Yagi-Antenne



Antenne, Abb. 5: Cubical-Quad

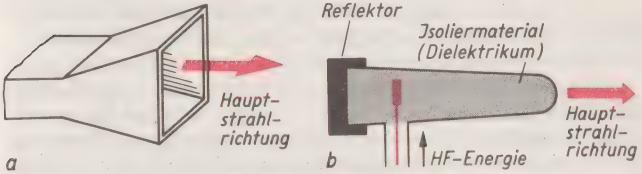
diagramms hängen von den Abständen und der Anzahl der A.nelemente ab. Statt des Halbwellendipols wird häufig ein *Falt-* oder *Schleifendipol* benutzt, den man sich aus 2 in geringem Abstand parallel übereinandergesetzten, an den Enden verbundenen Halbwellendipolen entstanden denken kann. Die Zusammenschaltung mehrerer übereinander angeordneter Yagi-A., z. B. zum Erzielen eines in der Vertikalen stark bündelnden Richtdiagramms, ist ebenfalls gebräuchlich.

Vor allem für UHF-Fernsehempfang, aber auch als (oft drehbare) Kurzwellenantenne erlangte die *Cubical Quad* [engl. kubisches Viereck] Bedeutung. 2 quadratische Leiterschleifen von $\lambda/4$ Kantenlänge stehen einander parallel und in definiertem Abstand (z. B. $0{,}2\,\lambda$) gegenüber. Die als Reflektor wirkende Schleife wird mit einem Kurzschlußschieber auf max. Wirkung abgestimmt (Abb. 5).

2.4. *Mikrowellen-A.* sind stets Richtstrahler. Da ihre geometrischen Abmessungen ohne großen Aufwand ein Vielfaches der Wellenlänge betragen können, werden sie meist flächig gebaut, wobei man wegen des quasioptischen Verhaltens der Mikrowellen weitgehend auf optische Gesetzmäßigkeiten zurückgreift. Die für Richtfunkstrecken sowie in der Radartechnik und Radioastronomie verbreitete *Parabol-A.* ist ein Rotationsparaboloid, in dessen Brennpunkt der mit dem Sender bzw. Empfänger verbundene Primärstrahler, z. B. ein Dipol oder ein Hornstrahler

(s. u.), angebracht ist. Die Strahlung wird von der A. zum Senden mit sehr geringem Öffnungswinkel gebündelt bzw. beim Empfang zum Primärstrahler reflektiert; ein mehrtausendfacher A.ngewinn ist erreichbar. Statt eines Rotationsparaboloids werden häufig Ausschnitte daraus oder Zylinderparaboloide gewählt, wodurch sich eine straffe Bündelung in nur einer Ebene erreichen läßt.

Hornstrahler (Abb. *6a*) sind trichterförmige Erweiterungen eines Hohlleiters, dem HF-Energie zugeführt wird. Sie können unmittelbar als A. verwendet werden, wobei die Bündelungsschärfe um so größer ist, je größer die Trichterabmessungen im Vergleich zur Wellenlänge sind. Hornstrahlern werden oft Metallplatten in bestimmter Anordnung vorgesetzt. Diese üben auf die Wellen eine ähnlich brechende und bündelnde Wirkung aus wie Linsen auf Lichtstrahlen (*Linsen-A.*). Als Primärstrahler von Parabol-A. werden Hornstrahler ebenfalls häufig verwendet. *Schlitzstrahler*, die der Rohrschlitz-A. ähneln, werden auch im Mikro-



Antenne, Abb. 6: Horn- (a) und Stielstrahler (*b*)

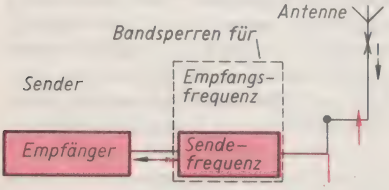
wellenbereich verwendet. *Dielektrische A.* (*Stielstrahler*, Abb. *6b*) sind Stäbe (oder Rohre) aus Isoliermaterial, die an einem Ende durch einen metallischen Reflektor abgeschlossen werden und deren Innerem durch einen Primärstrahler HF-Energie zugeführt wird. Ein großer Teil dieser Energie wird mehrfach reflektiert und verläßt den Stab bzw. das Rohr an dem dem Reflektor abgewandten Ende. Das Richtdiagramm hängt von Abmessungen und Material des Stielstrahlers ab. S. a. Gemeinschaftsantennenanlage.

Antenne, künstliche: elektrische Nachbildung einer Antenne in Form einer Schaltung, meist aus Widerständen, Kondensatoren und Spulen, die in ihren Kenndaten einer realen Antenne entspricht, jedoch elektromagnetische Wellen weder ausstrahlt noch empfängt. K. A. verwendet man z. B. für Empfindlichkeitsmessungen an Empfängern und für Leistungsmessungen an Sendern. Sie werden an den Empfängereingang bzw. Senderausgang angeschlossen und simulieren den normalen Betriebszustand. Bei Empfindlichkeitsmessungen wird der k. A. von einem Meßsender eine veränderbare HF-Spannung zugeführt und die Sprechleistung am Empfängerausgang gemessen. Bei Leistungsmessungen wird die vom Sender an die k. A. abgegebene HF-Leistung elektrisch oder über die auftretende Wärmeentwicklung bestimmt. K. A. für Sender hoher HF-Leistung müssen gekühlt werden. Geschieht dies durch strömendes

Wasser, so kann man auch aus dessen Temperaturerhöhung die Leistung des Senders bestimmen.

Antenneneffekt: Ausstrahlen oder Empfangen elektromagnetischer Wellen durch Leitungen oder leitende Teile von Geräten der HF-Technik. Der A. ist fast immer unerwünscht. In Sendern (zu denen auch die ↑ Oszillatoren von Empfängern zu rechnen sind) führt er zu parasitärer Strahlung, zu störenden Kopplungserscheinungen und Energieverlusten. In Empfängern hat er Störungen, z. B. durch das Eindringen nahegelegener (unerwünschter) Sender in den ↑ Zwischenfrequenzverstärker oder über die Netzzuleitung auch ohne Antennenanschluß zur Folge, in Peilempfängern verschlechtert er die Peilschärfe. Der A. läßt sich durch ↑ Abschirmung und durch Sperrmaßnahmen (z. B. ↑ Drosseln oder Durchführungskondensatoren) an allen vom Gerät nach außen führenden Leitungen unschädlich machen, die nicht der Übertragung von HF-Energie dienen.

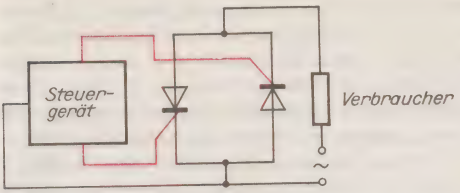
Antennenverstärker: Verstärker, der die von einer Antenne aufgenommene HF-Leistung verstärkt an die zu einem oder mehreren Empfängern führenden Leitungen weitergibt. Das Verhältnis zwischen Nutz- und Störsignal an der Antenne verbessert der A. nicht. Er kann daher die Verluste einer ungünstig gewählten oder mangelhaft installierten Antenne nicht ausgleichen. Beim Anschluß mehrerer Empfänger an eine Antenne (Gemeinschaftsantennenanlagen, Funkstationen) verhindert der A. eine gegenseitige Beeinflussung der Empfänger. A. werden bes. als Breitbandverstärker für den UKW- und Fernsehempfang eingesetzt, sind mit Halbleiterbauelementen bestückt, arbeiten selbsttätig und nahezu wartungsfrei. Man bringt sie in möglichst großer Nähe der Antenne an. Ihre Stromversorgung geschieht aus dem Lichtnetz oder aus einer Batterie.



Mit Bandsperren ausgestattete Antennenweiche

Antennenweiche: Anordnung, über die mehrere Empfänger oder Sender sowie kombinierte Sende-und-Empfangs-Geräte gleichzeitig und ohne gegenseitige Beeinflussung mit einer Antenne betrieben werden können. Sie besteht aus Bandpässen, -sperren oder Brückenschaltungen, die von dem Empfängereingang bzw. Senderausgang die jeweilige Spannung mit der unerwünschten Frequenz fernhalten. Eine A. ist u. a. in Klein- und ortsveränderlichen Funkstationen (z. B. für den Verkehrsfunk) eingebaut, die im Gegensprechverkehr arbeiten. Vgl. Antenne (Gemeinschaftsantennenanlage).

Antiparallelschaltung: Anordnung zweier steuerbarer, gleichrichtender Bauelemente (z. B. Thyristor, Thyratron), wenn ein Wechselstrom stetig



Antiparallelschaltung

gesteuert bzw. geregelt, aber nicht gleichgerichtet werden soll. Die Bauelemente werden gegeneinander geschaltet, d. h. die Katode des einen ist jeweils mit der Anode des anderen verbunden. Infolgedessen wird jeweils eine Wechselstromhalbwelle von einem der Bauelemente durchgelassen, vom anderen gesperrt. Steuerung bzw. Regelung erfolgt über ein Steuergerät. Vgl. TRIAC.

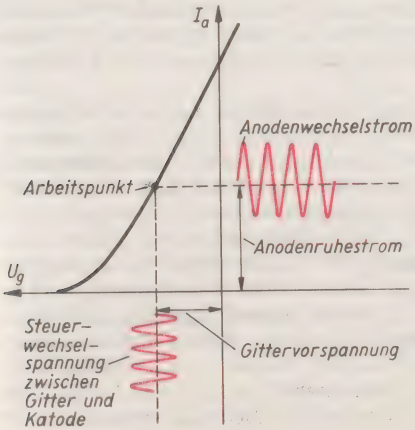
Antivalenzschaltung, Äquivalenzschaltung ↑ logische Grundschaltungen.

Arbeitskennlinie ↑ Elektronenröhre 2.

Arbeitskondensator ↑ Hochfrequenzerwärmung.

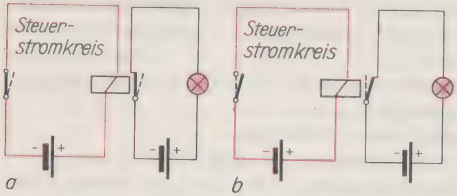
Arbeitspunkt: der Punkt einer Kennlinie, um den die durch ein elektrisches oder elektronisches Bauelement (z. B. Elektronenröhre, Transistor) miteinander verknüpften Wechselspannungen und bzw. oder -ströme schwanken. Die Lage des A. auf der Kennlinie ist durch die Betriebsgleichspannungen des Bauelements bestimmt (bei einer Elektronenröhre z. B. durch Gittervor- und Anodenspannung). Anderseits läßt sich durch die Wahl des A. die Betriebsweise des Bauelements verändern und der Aussteuerbereich (↑ Aussteuerung) einstellen. Bei der Festlegung des A.es sind Größe und Kurvenform des anliegenden Signals sowie die max. Elektrodenverlustleistung zu beachten.

Arbeitsspule ↑ Hochfrequenzerwärmung.



Arbeitspunkt auf einer Anodenstrom-Gitterspannungs-(I_a-U_g-)Kennlinie einer Elektronenröhre

Arbeitsstrombetrieb: Betriebsart einer elektrischen Anlage (z. B. Signalanlage), bei der diese nur wirksam ist, wenn in einem Steuerstromkreis Strom fließt (Schalter geschlossen), dadurch z. B. das Magnetsystem eines Relais seinen Anker anzieht und damit z. B. einen Lampenstromkreis schließt (Abb. *a*). Das Gegenteil ist der *Ruhestrombetrieb.* Hierbei fließt im Lampenstromkreis nur Strom, wenn der Steuerstromkreis im Ruhezustand, d. h. stromlos, ist und damit der Anker des Relais nicht angezogen wird (Abb. *b*). Der Relaiskontakt schließt den Lampenstromkreis bei jeder Unterbrechung des Steuerstromkreises, gleich, ob diese beabsichtigt war oder nicht (wichtig zur Überwachung des Betriebszustands von Stromkreisen, Alarmanlagen u. a.).



Arbeitsstrom- (*a*) und Ruhestrombetrieb (*b*)

Arbeitswiderstand ↑ Außenwiderstand.

ARI: Abk. für *A*utofahrer-*R*undfunk-*I*nformationssystem; elektronisches System zur selbsttätigen Verkehrslage-Information über Kfz-Rundfunkempfänger. Sender, die Verkehrshinweise ausstrahlen, beginnen diese mit einer Folge von Kennfrequenzen (↑ Selektivrufeinrichtung). Ein z. B. an die Tonbandbuchse des ständig eingeschalteten, aber zunächst stummen Empfängers angeschlossener Decoder wertet diese aus und schaltet die Durchsage auf den Lautsprecher. Nach der Durchsage wird der Lautsprecher durch Kenntöne abgeschaltet.
Sender, die regelmäßig und vor allem Verkehrsinformationen ausstrahlen, können sich durch eine Ultraschall-Kennfrequenz (z. B. 57 kHz) z. B. bei einem Empfänger mit Sendersuchlaufautomatik (↑ Abstimmung) selbsttätig einstellen.

Atomuhr, *Moleküluhr*: Zeit- und Frequenzmeßanlage größter Genauigkeit auf der Grundlage der frequenzkonstanten Eigenschwingungen von Atomen oder Molekülen, z. B. derjenigen des im Ammoniakmolekül zwischen 2 Endlagen pendelnden Stickstoffatoms. Jede A. enthält die grundlegenden, frequenzbestimmenden Baustufen einer Quarzuhr (s. a. Uhr, elektronische), deren Oszillator eine Grundfrequenz erzeugt. Diese wird vervielfacht (vgl. Frequenzvervielfacher), bis die Schwingungsfrequenz des Ammoniakmoleküls (etwa 23 870 MHz) erreicht ist, und als Mikrowelle durch einen mit Ammoniak unter niedrigem Druck gefüllten ↑ Hohlleiter geführt. Stimmen Frequenz der Mikrowelle und Schwingungsfrequenz der Ammoniakmoleküle überein, so wird die Mikrowelle max. absorbiert. Bei einer Frequenzabweichung vermindert sich die Absorption, und die Mikrowelle erreicht das Hohlleiterende mit größerer

Intensität. Daraus gewinnt man eine Steuerspannung, die den Oszillator nachstimmt, bis das Absorptionsmaximum erneut erreicht ist. Die Ganggenauigkeit von A.en ist hundertfach größer als die der besten Quarzuhren (Abweichung ±1 s in etwa 300 Jahren), weshalb sie für wissenschaftliche Präzisionsmessungen und als Zeitnormal verwendet werden.

Audion ↑ Demodulation.

Aufnahmekopf ↑ Magnetbandgerät.

Ausbeutefaktor ↑ Elektronenemission.

Ausfallrate: Kenngröße für die Haltbarkeit und Zuverlässigkeit elektronischer Bauelemente oder Geräte, betrachtet für den Zeitraum des technisch wichtigen Normalbetriebs, der zwischen der Zeitspanne der, z. B. durch Fertigungsfehler bedingten, vermehrten und kurz nach Betriebsbeginn auftretenden Frühausfälle und der alterungsbedingten, natürlichen Verschleißausfälle liegt und innerhalb dessen die mit λ bez. A. näherungsweise konstant ist. Ist n_1 die Anzahl der Bauelemente einer gegebenen Menge am Anfang des Beobachtungszeitraums t_1 und n_2 diejenige an seinem Ende t_2, so gilt: $\lambda = [1/(t_2 - t_1)] \cdot \ln n_1/n_2$.
Der reziproke Wert der A. wird *mittlere Funktionszeit* oder *Lebensdauer*, häufig auch *MTBF* [Abk. für engl. *M*ean *T*ime *B*etween *F*ailures] genannt.

Ausfallraten einiger elektronischer Bauelemente (Orientierungswerte)

Bauelemente	$\frac{\lambda}{[10^{-6} \cdot h^{-1}]}$	Bauelemente	$\frac{\lambda}{[10^{-6} \cdot h^{-1}]}$
Metallschicht-widerstände	0,001···0,5	Magnetrons	100···400
Keramik-kondensatoren	0,005···0,8	Si-Planardioden	0,02
Al-Elektrolyt-kondensatoren	0,01···80	Si-Planar-transistoren	0,05···0,8
Verstärker-röhren	2···50	Integrierte Schaltungen	0,01
Bildröhren	10···25	Lötverbindungen	0,03···0,1
		Wickel-verbindungen	0,0004···0,01

Die Angabe $2 \cdot 10^{-6} \cdot h^{-1}$ bedeutet z. B., daß aus einer Menge von 10^6 Verstärkerröhren in der ersten Stunde 2 Exemplare ausfallen. Fällt ein gesamtes elektronisches Gerät bereits aus, wenn eines seiner Bauelemente versagt, so ist die zu erwartende *Gesamt-A.* gleich der Summe der einzelnen A. der Bauelemente, Verbindungen u. a.

Ausgabegeräte ↑ Peripheriegeräte.

Ausgangskapazität ↑ Elektronenröhre 3.

Ausgangsleistung, in elektroakustischen Anlagen auch *Sprechleistung*: am Ausgang eines Vierpols (z. B. Verstärker, Sender) an einen Verbraucher (auch Belastung oder Abschlußwiderstand genannt) abgebbare elektrische Leistung in Watt. Die A. hängt von der max. Elektrodenverlust-

leistung der eingesetzten Bauelemente, vom ↑ Arbeitspunkt und von der ↑ Anpassung ab.

Ausgleichimpulse ↑ Fernsehnorm.

Außenwiderstand, *Arbeitswiderstand, Belastungswiderstand*: Widerstand, an dem der Strom eines als Stromquelle mit ↑ Innenwiderstand (1.) zu betrachtenden Bauelements oder einer -gruppe (Transistor, Röhre o. a.) eine Nutzspannung oder -leistung hervorruft, z. B. der Ausgangstransformator eines Leistungsverstärkers oder der Widerstand einer Transistor-Verstärkerstufe, an dem die Spannung zur Steuerung der folgenden Stufe abgegriffen wird.

Aussteuerung: Anlegen eines Signals an eine steuerbare Einrichtung, insbes. an einen Verstärker. Damit der gewünschte Zusammenhang zwischen steuernder Eingangs- und gesteuerter Ausgangsgröße, z. B. ein vorgegebener Klirrfaktor, eingehalten wird, muß der ↑ Arbeitspunkt so eingestellt werden, daß die steuernde Größe innerhalb des A.sbereichs liegt, dargestellt z. B. durch einen als annähernd geradlinig zu betrachtenden Abschnitt einer Transistor- oder Röhrenkennlinie. Bei Überschreiten der Grenzen des A.sbereichs tritt *Übersteuerung* ein; sie ist bei elektroakustischen Übertragungen Ursache starker ↑ Verzerrungen.

Einrichtungen zur *A.sanzeige* zeigen die jeweilige Größe der A. und Übersteuerungen an. Sie werden in Tonstudios, Verstärkeranlagen, bei Magnetbandaufnahmen u. a. angewendet und bestehen z. B. aus einem Drehspulinstrument mit vorgeschaltetem Gleichrichter. Selbsttätige *A.sregelung* wird z. B. für Funktelefonieverbindungen und in elektroakustischen Anlagen (in Kassetten-Tonband- und Diktiergeräten usw.) angewendet und verringert übermäßige Schwankungen der mittleren Amplitude des Eingangssignals, wie sie etwa durch wechselnden Abstand Sprecher-Mikrofon hervorgerufen werden.

Austastimpulse: 1. ↑ Fernsehen. – **2.** ↑ Fernsehnorm.

Austrittsarbeit: aufzuwendende Energie, um ein frei bewegliches Leitungselektron aus dem Kristallgitter eines Festkörpers in Vakuum zu bringen. Die A. wird in Elektronenvolt (eV) angegeben und ist eine vom Metall bzw. von der Festkörperoberfläche abhängige Konstante. Für die Herstellung von Katoden werden Werkstoffe geringer A. bevorzugt, z. B. Kalzium (3,2 eV), Barium (2,1 eV) und Zäsium (1,8 eV). Vgl. Elektronenemission.

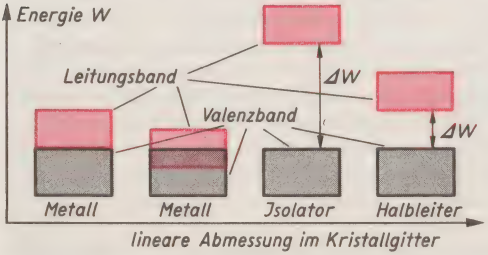
Autoalarmgerät ↑ Notfunkgerät.

Avalancheeffekt ↑ Diode (2).

AVR: Abk. für automatische Verstärkungsregelung. ↑ Schwundregelung.

B

back-scattering ↑ Streuverbindung.
Balanceregler ↑ Stereofonie.
Ballempfang: dem Ballzu- und -abspielen ähnelndes und danach bez. Verfahren zur Aufnahme von Funksignalen (bes. von Rundfunk- und Fernsehprogrammen) mit dem Ziel der Wiederaussendung, um Empfänger in einem größeren oder weit entfernten Gebiet zu versorgen. Die urspr. Sendung wird mit einem hochempfindlichen und frequenzstabilen *Ballempfänger* aufgenommen und über einen Sender am Empfangsort wieder ausgestrahlt. B. wird angewendet, wenn die Übertragung der wieder auszusendenden Signale über Leitungen oder Richtfunkstrecken zu schwierig oder unökonomisch ist.
Bandbreite: Kenngröße zur Charakterisierung des von einer Übertragungseinrichtung, wie Sender, Kabel, Verstärker oder Filter, hindurchgelassenen Frequenzbands. Die B. wird, sofern nicht anders festgelegt, als Abstand der beiden *Grenzfrequenzen* angegeben, auf denen die übertragene Leistung nur noch die Hälfte und die Spannung $^1/_2\sqrt{2} = 0{,}71$ des Maximalwerts betragen. *Notwendige B.* nennt man die für eine Übertragung vorgegebener Qualität erforderliche Mindest-B. Schaltungsglieder, mit deren Hilfe sich in Funkempfängern die B. verändern und damit den Übertragungsbedingungen, z. B. Störungen durch frequenzbenachbarte Sender, anpassen läßt, werden im üblichen Sprachgebrauch nicht exakt als *B.nregelung* bez.
Bändermodell: Modellvorstellung zur Beschreibung, Erklärung und quantitativen Erfassung wichtiger Gesetzmäßigkeiten der elektrischen Leitfähigkeit fester Körper auf der Grundlage der energetischen Zustände ihrer Elektronen. Die Elektronen eines Atoms bewegen sich auf Bahnen um den Kern, denen eindeutige, durch die Quantentheorie bestimmte Energieniveaus entsprechen. Ein Aufenthalt zwischen 2 Energieniveaus ist Elektronen „verboten", d. h. physikalisch unmöglich; der Übergang von einem Energieniveau zum anderen kann nur unter Energiezufuhr oder -abgabe erfolgen. In Festkörpern tritt jedes Atom auf Grund elektrischer



Bändermodell: Lage des Valenzbands in Metallen, Isolatoren und Halbleitern

Kräfte in Wechselwirkung mit den Atomen seiner Umgebung. Eine Folge davon ist, daß sich die Energieniveaus der Festkörperatome in dicht nebeneinanderliegende Unterniveaus aufspalten. An die Stelle diskreter Energieniveaus treten Energie b ä n d e r bestimmter Breite, in denen sich Elektronen aufhalten können. Für die Leitfähigkeit entscheidend sind das letzte, mit der max. möglichen Elektronenzahl besetzte sog. *Valenzband*, und das folgende, teilweise oder überhaupt nicht mit Elektronen besetzte *Leitungsband*. Im Valenzband sind sämtliche Elektronen an ihre Atome gebunden; wegen des Fehlens freier Plätze hat dieses Band an der Leitfähigkeit zunächst keinen Anteil. Elektronen im nur teilweise besetzten Leitungsband hingegen sind zwischen den Atomen des Festkörpers beweglich und für die elektrische Leitfähigkeit bestimmend. Vom Abstand zwischen Valenz- und Leitungsband, d. h. von der Breite ΔW des verbotenen Bereichs, hängt es ab, ob ein Stoff den metallischen Leitern, den Isolatoren oder den Halbleitern zuzuordnen ist.

Die elektrische Leitfähigkeit der Metalle wird dadurch bewirkt, daß Valenz- und Leitungsband ohne dazwischenliegenden verbotenen Bereich aneinandergrenzen oder sich teilweise überlappen. In beiden Fällen wird eine Teilbesetzung des Leitungsbands erreicht. In Isolatoren und Halbleitern ist das Leitungsband bei 0 K leer und enthält keine Ladungsträger. Valenz- und Leitungsband sind durch einen verbotenen Bereich getrennt. Dessen Breite ΔW (von der Oberkante des Valenzbands bis zur Unterkante des Leitungsbands) entspricht der zum Übergang von einem zum anderen Band nötigen, in ↑ Elektronenvolt angegebenen Energie und beträgt für Isolatoren etwa 2,5 bis 10 eV, so daß unter normalen physikalischen Bedingungen und Temperaturen keine Elektronen in das Leitungsband gelangen können. In Halbleitern ist die Breite des verbotenen Bereichs geringer, so daß z. B. für Germanium nur 0,72 eV, für Silizium 1,1 eV als Übergangsenergie benötigt werden. Daher erlangen einige Elektronen bereits bei Zimmertemperatur genügend Energie, um in das Leitungsband übertreten zu können. Zur Leitfähigkeit tragen in diesem Falle auch die im Valenzband durch das Abwandern von Elektronen entstandenen Löcher (Defektelektronen) bei; denn diese verhalten sich ähnlich wie positive Ladungen (vgl. Halbleiter) und sind im Festkörper beweglich. Die Anzahl der in das Leitungsband gelangenden Elektronen und damit die Leitfähigkeit des Halbleiters nehmen mit der Temperatur zu. Enthält ein Halbleiter Fremdatome als Störstellen, so entstehen innerhalb des verbotenen Bereichs neue Energieniveaus. Sie liegen z. B. bei *n*-leitendem Material dicht unter der Untergrenze des Leitungsbands und geben leicht Elektronen in das Leitungsband ab, während sie bei *p*-leitendem Material dicht über der Obergrenze des Valenzbands liegen, aus diesem Elektronen aufnehmen und so die Anzahl der Löcher im Valenzband vergrößern.

Bandpaß und **-sperre** ↑ Filter.

Bandspreizung: Verfahren, um beim Funkempfang bes. interessierende Teile eines größeren Frequenzbereichs zum Erleichtern der Einstellung

über die ganze oder einen großen Teil der Skalenlänge zu „dehnen". Interessieren nur bestimmte schmale Frequenzbänder, z. B. das 41-m- und das 49-m-Rundfunkband, dann werden die entspr. Schwingungskreise so ausgelegt, daß sie lediglich diese Bänder erfassen, alle anderen hingegen auslassen.
Soll der gesamte vom Empfänger erfaßbare Frequenzbereich gespreizt werden, so schaltet man 2 Drehkondensatoren unterschiedlicher Kapazität – z. B. 500 pF und 25 pF – parallel. Die Kapazität des größeren Drehkondensators, des *Bandsetzkondensators*, wird z. B. stufenweise verändert, während mit dem kleineren der durch den Bandsetzkondensator festgelegte Bereich stetig überstrichen wird. Eine einfache Möglichkeit der B. bieten Kapazitätsdioden (vgl. Abstimmung).

Barkhausensche Röhrenformel: von dem deutschen Physiker *Heinrich Barkhausen* aufgestellte Grundformel $S \cdot R_i \cdot D = 1$, die den Zusammenhang zwischen Steilheit S, Innenwiderstand R_i und Durchgriff D einer ↑ Elektronenröhre angibt. Wird D durch den Verstärkungsfaktor $\mu = 1/D$ ausgedrückt, so ist $\mu = S \cdot R_i$.

Basis ↑ Transistor.

Basisschaltung ↑ Verstärker 1.2.

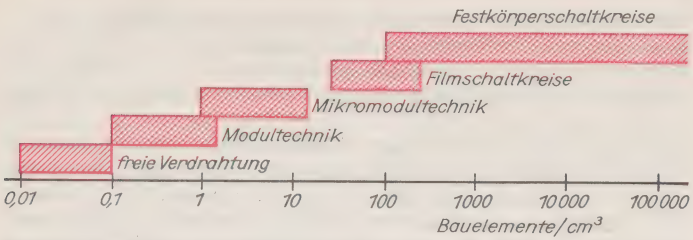
Baßanhebung ↑ Klangregelung.

BAS-Signal ↑ Fernsehen.

Baßreflexgehäuse: allseitig geschlossenes Lautsprechergehäuse, dessen Vorderseite lediglich einen Ausschnitt für die Lautsprechermembran und eine weitere Öffnung zum Druckausgleich aufweist. Die Eigenresonanzfrequenzen des Lautsprechers und des B. werden so aufeinander abgestimmt, daß auch sehr tiefe Töne durch die Resonanzwirkung gut wiedergegeben werden. Ein B. wählt man bei gewünschter hoher Wiedergabequalität, z. B. für stereofonische Heimgeräte.

Bauelement: Einzelteil, dessen physikalische Eigenschaften und Verhalten (z. B. Kapazität, Wechselstromwiderstand, Ventilwirkung gegenüber elektrischen Strömen) Ausgang und Grundlage für Aufbau und Funktion elektronischer Schaltungen bilden. Als *passiv* bez. man B., durch die der Fluß von Informationen oder von Energie ermöglicht oder beeinflußt wird. Zu ihnen zählen z. B. Widerstände, Kondensatoren, Drosseln, Übertrager. *Aktiv* heißen B., mit deren Hilfe sich ein Informations- oder Energiefluß steuern läßt. Zu ihnen zählen z. B. Transistoren, Elektronen- und Gasentladungsröhren. Mehrere schaltungsmäßig und konstruktiv zu einer funktionsfähigen Einheit, z. B. einem Begrenzer, einer Torschaltung, einer Verstärkerstufe, verbundene B. ergeben einen *Baustein*. Mehrere zu einer Einheit zusammengefaßte Bausteine bilden, mitunter auch Bausteine mit zugesetzten B.en, eine *Baugruppe*, z. B. einen mehrstufigen Verstärker oder eine Zählschaltung, die im Zusammenwirken mit anderen Baugruppen das vollständige Gerät darstellt (vgl. Bausteinsystem).

Bauelementendichte, *Packungsdichte*: Hilfsgröße zur Charakterisierung des Miniaturisierungsgrads elektronischer Geräte, angegeben als „Bau-



Erreichbare Bauelementendichte bei verschiedenen Schaltungstechnologien

elemente/cm^3". Die B. hat im wesentlichen den Sinn einer Vergleichszahl und ist, dem Alter und damit dem technologischen Entwicklungsstand sowie der spezifischen Aufgabenstellung eines Gerätes entspr., erheblichen Schwankungen unterworfen. Beispiele für die Bereiche der B. verbreiteter Herstellungsverfahren zeigt die Abb.

Baugruppe und **-stein** ↑ Bauelement.

Bausteinsystem: Angebot elektronischer Bausteine, die funktionell so aufeinander abgestimmt sind, daß sich aus relativ wenigen, unterschiedlichen Grundschaltungen mannigfache und umfangreiche elektronische Schaltungen zusammenstellen lassen. Die standardisierten Bestandteile eines B. haben einheitliche elektrische Anschluß- und Betriebsparameter (z. B. Speise-, Eingangs- und Ausgangsspannungsbereich, Toleranzen, zulässige Temperaturen) sowie übereinstimmende mechanisch-konstruktive Merkmale (z. B. Gehäuseabmessungen, Anschluß- und Verbindungsmöglichkeiten) und sind bei Defekten leicht auswechselbar (steck- oder lötbare Verbindungen). B. kommen wegen der hohen Losgrößen der Anwendung moderner, hochproduktiver, häufig teilautomatisierter Produktionsverfahren entgegen. Sie erleichtern Wartung, Prüfung, Instandsetzung und Entwurf elektronischer Anlagen.

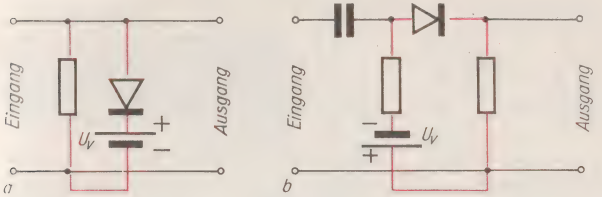
BBD ↑ Ladungsverschiebungsschaltung.

Beam-lead-Technik ↑ Halbleiterblocktechnik.

Begrenzer: Schaltung, mit deren Hilfe die Amplituden elektrischer Signale nicht über einen vorgegebenen Wert steigen (*Maximum-B.*) oder unterhalb eines gegebenen Wertes unwirksam bleiben (*Minimum-B.*). Als begrenzende Bauelemente dienen häufig Dioden. Im Maximum-B. (Abb. a) ist eine Diode, die in Sperrichtung eine Vorspannung U_V erhält, als Nebenschluß zum Signalweg geschaltet. Alle Eingangssignale, deren Amplitude die Vorspannung U_V nicht überschreitet, werden durch die Diode nicht beeinflußt und erscheinen am Ausgang.

Signalamplituden $> U_V$ hingegen heben die Vorspannung auf, werden nahezu kurzgeschlossen und erscheinen nicht am Ausgang des B. Im Minimum-B. (Abb. *b*) können die in Sperrichtung an der Vorspannung U_V liegende Diode nur diejenigen Signale passieren, deren Amplitude $> U_V$ ist.

Häufig soll die B.wirkung mit einer Verstärkung verbunden werden. Zur



Maximum- (a) und Minimumbegrenzer (*b*)

gleichzeitigen Maximumbegrenzung z. B: kann man ein verstärkendes Bauelement bis in den Bereich starker Kennlinienkrümmung (-sättigung) übersteuern und so die Amplitudenspitzen beschneiden. Zur gleichzeitigen Minimumbegrenzung kann man ihm eine solche Vorspannung erteilen, daß erst Signale von einer bestimmten Amplitude ab eine Steuerwirkung ausüben.

B. dienen dazu, ein Gemisch von Signalen unterschiedlicher Amplituden zu trennen (vgl. Amplitudensieb) und haben bei Übertragungen mit Frequenzmodulation (↑ Modulation 2.) weite Verbreitung gefunden, um Störungen zu unterdrücken. Für diesen Zweck stehen auch Spezialschaltungen zur Verfügung, die außer einer Begrenzung eine Demodulation bewirken.

Begrenzungswiderstand ↑ Gasentladungsröhre.

Belastungswiderstand ↑ Außenwiderstand.

Belegleser: Eingabeeinrichtung einer EDVA, die Urbelege zur unmittelbaren Eingabe auswertet und damit die Zwischenschaltung spezieller maschinenlesbarer Datenträger erübrigt. Bes. Bedeutung erlangen B., die Druck- oder Schriftzeichen lesen. Ihre Realisierung erfordert Zeichen, die vom Menschen und von der Maschine gleichermaßen gelesen und von dieser eindeutig erkannt werden. Dafür stehen mehrere stilisierte Zeichensysteme zur Verfügung.

Bei optischen *Klarschriftlesern* werden die Zeichen zeilenweise fotoelektronisch abgetastet; bei *Magnetschriftlesern* findet eine mit magnetischer Tinte bzw. Farbe aufgebrachte Schrift Verwendung, die Abtastung geschieht magnetisch (vgl. Magnetbandgerät). Die beim Abtasten erhaltenen elektrischen Signale werden in einer Erkennungseinheit mit in dieser gespeicherten Musterzeichen verglichen. Bei Übereinstimmung wird das betr. Zeichen zur Weiterverarbeitung durch die EDVA oder zur Speicherung auf einem anderen Datenträger freigegeben.

Berührungsschalter (elektronischer): Schalt-Bauelement, dessen Funktion nicht mechanisch, z. B. als Bewegung Feder/Kontakt, sondern bei bloßer Berührung ausschl. elektronisch ausgelöst wird. In Sonderfällen u. a. für ↑ Alarmanlagen benutzt, erhielten B. vor allem durch Halbleitertechnik und integrierte Schaltungen Bedeutung, z. B. zur Kanaleinstellung in Fernseh- und UKW-Rundfunkempfängern („Sensorautomatik").

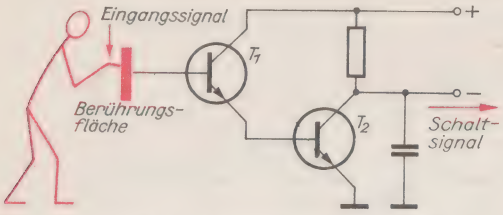


Abb. 1: Schaltung durch Berühren einer Tastfläche

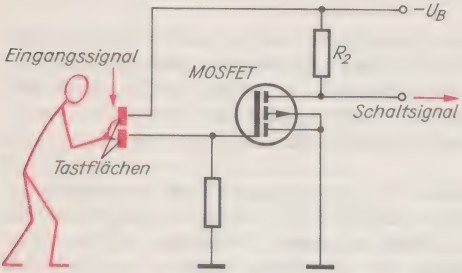


Abb. 2: Schaltung durch Berühren von zwei Tastflächen

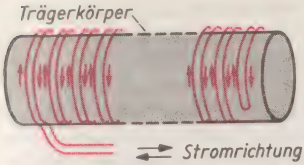
B. nutzen das Leitvermögen des menschlichen Körpers, wobei in jedem Fall sichergestellt ist, daß die über den Körper fließenden Ströme ungefährlich und unmerklich sind.

Betrachtungsabstand: die dem Fernsehzuschauer zu empfehlende Entfernung vom Bildschirm, bei der die Zeilenstruktur des Bildes nicht mehr zu erkennen ist. Der B. hängt bei gegebener Bildgröße von der Zeilenzahl ab und soll bei 625 Bildzeilen (vgl. Fernsehnorm) das 6- bis 8fache der Bildhöhe betragen.

Betriebsmeß-, Steuerungs- und Regelungstechnik: Teilgebiet der Technik mit der Aufgabe, Arbeitsprozesse im weitesten Sinne zu kontrollieren, zu steuern und zu regeln. Die BMSR-Technik, die sich sehr häufig elektronischer Verfahren, Geräte und Einrichtungen bedient, ist eine entscheidende Grundlage für die Automatisierung.

Bifilarwicklung [lat. bis, zweimal; filum, Faden]: Leiteranordnung für Wicklungen, deren Induktivität gering bleiben soll. Der abgelängte Draht wird, von seiner Mitte aus beginnend, zweifädig auf den Trägerkörper gewickelt, so daß die Stromrichtung in nebeneinanderliegenden Windungen stets entgegengesetzt ist und sich deren Magnetfelder dadurch nahezu aufheben. B.en werden u. a. für Präzisionswiderstände von Meßgeräten und für „induktionsarme" Widerstände von elektronischen Geräten gewählt.

Bildaufnahmeröhre: Elektronenstrahlröhre zur Umwandlung optischer Bilder in elektrische Signale zur Fernsehübertragung. B. beruhen auf dem



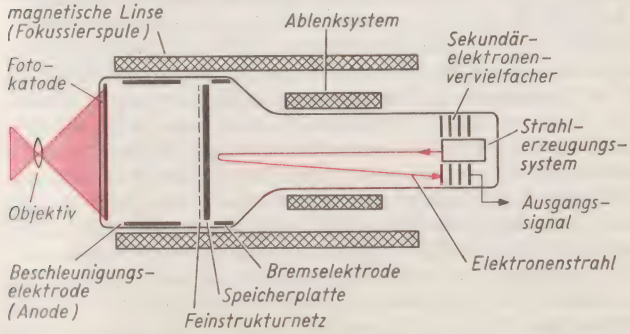
Bifilarwicklung

äußeren oder inneren ↑ lichtelektrischen Effekt, der kurzzeitigen Speicherung elektrischer – der Beleuchtungsstärke proportionaler – Ladungen und ihrer Umwandlung in elektrische Signalfolgen mit Hilfe eines zeilenweise geführten Elektronenstrahls.

Die 1. B., das 1934 entwickelte *Ionoskop*, hat wie die aus ihm entstandenen B. *Superikonoskop* und *Rieselikonoskop* nur noch sehr geringe Bedeutung.

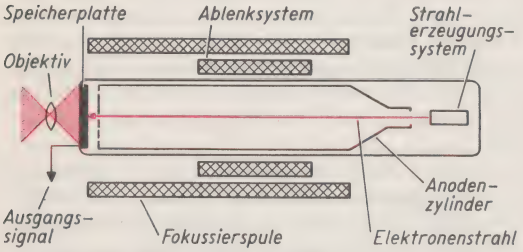
Das auf dem äußeren lichtelektrischen Effekt beruhende *Superorthikon* (*Image-Orthikon*, Abb. *1*) ist eine B. sehr hoher Lichtempfindlichkeit z. B. für Aufnahmen im Freien auch unter ungünstigen Beleuchtungsverhältnissen, Nachtaufnahmen u. a. Die zu übertragenden Motive werden durch das Objektiv der Fernsehkamera auf einer flächenhaften Fotokatode abgebildet. Deren Punkte emittieren eine der Beleuchtungsstärke entspr. Zahl von Fotoelektronen. Diese werden durch eine Elektrode in Richtung der Röhrenachse beschleunigt und durch eine magnetische Linse so geführt, daß die örtlich wechselnde Emissionsverteilung der Fotokatode beim Auftreffen der Fotoelektronen auf die Speicherplatte erhalten bleibt.

Auf der Speicherplatte rufen die Fotoelektronen durch Auslösen von Sekundäremission ein elektrisches Ladungsbild hervor: Die Ladungsverteilung auf der Rasterplatte entspricht der Beleuchtungsstärke-Verteilung des auf die Fotokatode gelangenden optischen Bildes. Als Speicherplatte dient eine 2 bis 3 μm dicke Glasfolie; die von ihr ausgehenden Sekundärelektronen werden durch ein dicht davor angeordnetes



Bildaufnahmeröhre, Abb. *1*: Superorthikon

Feinstrukturnetz aufgefangen. Die Glasfolie hat eine gewisse elektrische Leitfähigkeit; daher teilen sich die auf der Vorderseite durch Emission von Sekundärelektronen auftretenden positiven Ladungen (Ausbeutefaktor > 1) auch der Rückseite mit. Diese wird von einem zeilenweise geführten Elektronenstrahl abgetastet, dessen Elektronen nur geringe Geschwindigkeit haben und unmittelbar vor der Speicherplatte durch eine ringförmige Bremselektrode zur Umkehr gezwungen werden. Nur an positiv geladenen Stellen der Speicherplatte dringen Elektronen bis zu dieser vor und kompensieren die positive Ladung. Der zurückkehrende Elektronenstrahl weist infolgedessen eine zeitlich unterschiedliche Dichte auf. Er wird auf einen eingebauten ↑ Sekundärelektronenvervielfacher gelenkt und durch diesen bis 5 000fach verstärkt. Der verstärkte Strom durchfließt einen Widerstand, an dem das Bildsignal abgenommen wird. Eine Variante des Superorthikons, das *Superisokon*, zeichnet sich durch bes. hohe Empfindlichkeit aus und wird z. B. zur Aufnahme von Röntgen-Schirmbildern benutzt. – Das Superorthikon ist aus dem *Orthikon* entwickelt worden, einer B., deren Fotokatode unmittelbar von einem Strahl langsamer Elektronen abgetastet wurde.



Bildaufnahmeröhre, Abb. 2: Endikon

Während die bisher genannten B. auf dem äußeren lichtelektrischen Effekt beruhen, ist das *Endikon* (auch *Vidikon* oder *Resistron* genannt, Abb. 2), eine B. auf der Grundlage des inneren lichtelektrischen Effekts. Die Stirnwand des Glaskolbens trägt auf einer leitenden, durchsichtigen Schicht, die als Signalplatte dient, eine halbleitende Speicherplatte (z. B. aus Selen, Antimontrisulfid), auf die das optische Bild geworfen wird. Ein Elektronenstrahl, der zwischen einem feinmaschigen, den Anodenzylinder abschließenden Netz und der Speicherplatte auf geringe Geschwindigkeit abgebremst wird, tastet die letztere ab und lädt sie dabei negativ auf. Wird die Speicherplatte beleuchtet, so stellt sich ein von Punkt zu Punkt unterschiedlicher, der jeweiligen Beleuchtungsstärke entspr. Widerstand ein. Infolgedessen wandern die Ladungen mehr oder weniger schnell zur positiven Signalplatte ab, und es entsteht so ein elektrisches Ladungsbild. Beim nächsten Abtastzyklus ergänzt der Elektronenstrahl die Ladungen wieder. Daraus lassen sich Strom- und Spannungsschwan-

kungen gewinnen, die das Bildsignal darstellen. Das Endikon ist einfach in der Konstruktion, sehr lichtempfindlich und hat kleine Abmessungen. Bei Bestückung mit Halbleiterbauelementen hat eine Endikon-Fernsehkamera etwa die Größe einer Schmalfilmkamera; Kameras für Spezialzwecke (Raumfahrt, Rohrleitungs- und Bohrlochsonden, Medizintechnik, Unterwasseraufnahmen, Fernsehmikroskopie, Raumschutzanlagen) sind noch kleiner. Durch Wahl eines entspr. Halbleiterwerkstoffs kann die Empfindlichkeit des Endikons bevorzugt in den infraroten Teil des Spektrums (*Infrarot-Endikon*) verlegt werden; damit sind Aufnahmen von Wärmestrahlern oder von Wärmestrahlung reflektierenden Gegenständen auch bei Dunkelheit möglich. Das Endikon wird vor allem in industriellen und wissenschaftlichen Fernsehanlagen eingesetzt, beim Fernsehrundfunk, in Reportagekameras und für die Filmwiedergabe.

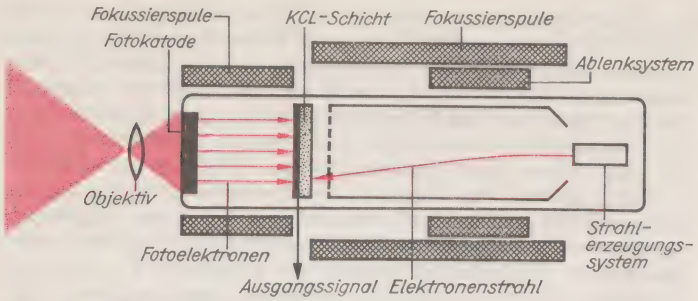
Das *Plumbikon* unterscheidet sich vom Endikon durch eine mehrschichtige (Bleioxid-)Speicherplatte, deren Elemente ähnlich wie Fotodioden (vgl. Diode 2.) wirken. „Nachzieherscheinungen", die beim Endikon wegen der für den Ladungsausgleich benötigten Zeitspanne bes. bei schnell bewegten Bildteilen stören können, treten daher beim Plumbikon nicht auf. Es wird u. a. in Studiofernsehkameras und in Farbfernsehkameras eingebaut.

Beim *Hybridendikon* (Silizium-Multidioden-Vidikon) bildet eine dünne, *n*-leitende Si-Scheibe die Grundlage des Systems Signalplatte/Speicherplatte. Diese bildet die Signalplatte und wird an der vom Elektronenstrahl abzutastenden Seite mit einer SiO_2-Schicht überzogen, in die nach Ansetzen eines dichten Rasters zahlreiche ↑ *pn*-Übergänge eindiffundiert werden.

Die so entstandenen „Mikro"-Fotodioden (vgl. Diode, S. 84) sind in Sperrichtung vorgespannt und laden sich der örtlichen Beleuchtungsstärke entspr. auf. Abwandern und Ergänzung der Ladungen erfolgen wie beim Endikon. Das Hybridendikon ist dem Endikon an Empfindlichkeit überlegen und arbeitet trägheitsärmer als dieses.

Das *Ebikon* vereint Merkmale des Superorthikons und des Endikons. Die Fotoelektronen werden hier so beschleunigt, daß sie die dünne (Aluminium-)Signalplatte durchdringen. Sie verändern die Leitfähigkeit einer auf der Rückseite der Signalplatte vorhandenen halbleitenden Speicherschicht und rufen ein elektrisches Ladungsbild hervor. Die Signalgewinnung geschieht wie beim Endikon.

SEC-Vidikon [engl. secondary electron conduction, Sekundärelektronen-Leitung, Abb. 3] und *Ebsikon* (Abk. für mit *E*lektronen *b*ombardiertes *Si*lizium) nutzen den äußeren lichtelektrischen Effekt. Im SEC-Vidikon ist wichtigster Bestandteil des Systems Signalplatte/Speicherplatte eine sehr poröse Kaliumchloridschicht, die sich auf einer mit Aluminium bedampften Aluminiumoxidfolie befindet. In ihr lösen die von einer Fotokatode kommenden und beschleunigten Fotoelektronen zahlreiche Sekundärelektronen aus (Ausbeutefaktor der KCl-Schicht > 30). Das entstehende Ladungsbild wird wie beim Endikon abgetastet. Im



Bildaufnahmeröhre, Abb. 3: SEC-Vidikon

Ebsikon treffen die beschleunigten Fotoelektronen auf ein ähnliches Signalplatte/Speicher-System wie beim Silizium-Multidioden-Vidikon. Die ,,Mikro''-Dioden werden durch Bildung zahlreicher Ladungsträgerpaare aufgeladen. Die Signalgewinnung erfolgt wie beim Endikon. Gegenüber dem Endikon zeichnen sich diese B. durch hohe Empfindlichkeit (,,Vervielfacher-Effekt'' durch Sekundärelektronen), geringe Trägheit und Widerstandsfähigkeit gegenüber ,,Blendung'' durch zu große Helligkeitswerte aus.

Bildaufzeichnung, thermoplastische: Bildspeicherverfahren auf der Grundlage der Verformung thermoplastischen Materials. Der zur Aufzeichnung dienende Film trägt auf thermostabiler Grundschicht eine sehr dünne, leitende Metall- und darüber eine Thermoplastschicht. Der Film wird im Hochvakuum quer zur Laufrichtung zeilenweise von einem Elektronenstrahl ,,beschrieben'', dessen Intensität mit den zu speichernden Bildsignalen moduliert ist. Unter seiner Einwirkung wird die thermoplastische Schicht örtlich unterschiedlich stark negativ geladen. Gleichzeitig damit entsteht eine entspr. positive Ladung in der leitenden Schicht. Die elektrostatischen Anziehungskräfte zwischen positiven und negativen Ladungen und die Oberflächenspannung bewirken durch das Bestreben, einen Gleichgewichtszustand herbeizuführen, bei der unmittelbar anschließenden ↑ Hochfrequenzerwärmung des Films mikroskopische Verformungen der thermoplastischen Schicht (,,Runzeln''). Diese werden durch folgende rasche Abkühlung ,,eingefroren'' und können (unterschiedliche Durchsichtigkeit) mittels einer Schlierenoptik in ein Bild rückgewandelt werden. Moduliert man dem Elektronenstrahl zusätzlich Farbinformationen auf, ist mit speziellen Projektionsverfahren auch eine Farbbildwiedergabe möglich.

Der Speicherprozeß bis zum wiedergabebereiten Bild dauert etwa 0,01 s. Aufnahmen können durch Erwärmen und damit Erweichen der thermoplastischen Schicht gelöscht, die Filme vielmals verwendet werden. Die t. B. weist eine weit höhere Informationsdichte als magnetische Speicherverfahren auf. Sie wird z. B. zur Aufzeichnung der von Satelliten und

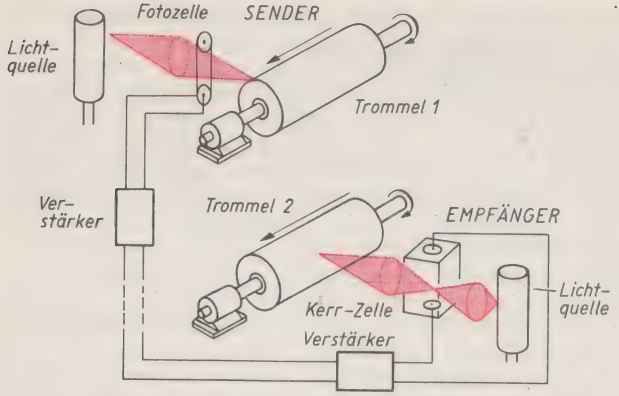
Raumsonden übermittelten Bilder, zur Speicherung von Radarsignalen und auch zur Datenspeicherung in der EDVA genutzt.

Bildelement: kleinste Flächeneinheit eines Fernsehbilds, innerhalb deren keine Helligkeitsabstufung mehr vorhanden ist. Die Anzahl der B. wird durch den für eine Übertragung vertretbaren Aufwand bestimmt. Ein Fernsehbild gibt um so mehr Einzelheiten wieder (größere „Schärfe"), aus je mehr B.en es zusammengesetzt ist. Die in vielen Ländern übliche 625-Zeilen-Fernsehnorm, bei der jedes Bild aus etwa 520000 B.en besteht, stellt einen günstigen Kompromiß zwischen Wiedergabequalität und technischem Aufwand dar.

Bildformat: Abmessungen des Schirmbilds von Fernsehempfängern. Die Fernsehnormen sehen ein Seitenverhältnis des Bildes von 4:3 vor, während nahezu sämtliche Bildröhren mit einem Seitenverhältnis 5:4 gebaut werden; die Folge ist ein unwesentlicher Bildverlust an den Seiten. Das B. wird durch die Diagonale des Bildschirms charakterisiert, deren Länge in der Typenbez. der Bildröhre angegeben ist. Die nutzbare Diagonale ist allerdings etwas kürzer; beim Typ „B 47 G 1" z. B. beträgt die nutzbare Diagonale 446 mm, das nutzbare B. 384 mm × 305 mm. Durch starkes Verkleinern des anfänglich großen Krümmungsradius an den Bildecken konnte das B. ohne wesentliche Änderungen im Elektrodensystem und in den Betriebsdaten der Bildröhre vergrößert werden; so entstanden die *Vollrechteck-Bildröhren* mit nur leicht abgerundeten Ecken, wie die 47-cm- und 59-cm-Röhre, die aus der 43-cm- bzw. 53-cm-Röhre entwickelt wurden. Bilddiagonalen von etwa 12 cm (transportable Fernsehempfänger) bis > 60 cm sind üblich; bevorzugt werden gegenwärtig, dem günstigen ↑ Betrachtungsabstand bei normaler Wohnraumgröße entspr., 50 cm bzw. 61 cm.

Bildfrequenz ↑ Fernsehen.

Bildfunk: drahtlose Übertragung von Bildvorlagen, geschriebenen oder gedruckten Texten nach dem Prinzip der *Bildtelegrafie*: Beim Sender wird die Vorlage auf eine, z. B. mit 60 min^{-1}, rotierende Trommel gespannt. Ein auf diese geworfener, scharf begrenzter Lichtfleck tastet die Vorlage in einer Schraubenlinie ab, wobei jede abgetastete Stelle je nach ihrer Schwärzung mehr oder weniger Licht reflektiert. Die Schraubenlinie kommt zustande, indem die Trommel während der Rotation in Achsenrichtung vorrückt oder indem der Lichtfleck in Achsenrichtung verschoben wird. Das reflektierte Licht wird, z. B. durch eine oder mehrere Fotozellen, in elektrische Signale umgewandelt, die einen Sender modulieren. Beim Empfänger werden aus den elektrischen Signalen, z. B. mit Hilfe einer ↑ Kerr-Zelle, Intensitätsschwankungen eines Lichtstrahls gewonnen. Er wird auf eine mit der Sendertrommel synchron laufende Trommel gerichtet und belichtet, ebenfalls eine Schraubenlinie durchlaufend, auf die Trommel gespanntes lichtempfindliches Material entspr. den beim Sender abgetasteten Bildpunkten. Nach dem Entwickeln liegt beim Empfänger die Kopie vor. Die Bildauflösung beträgt i. allg. etwa 4 Zeilen/mm, kann aber bei erhöhten Qualitätsanforderungen erheblich



Bildtelegraf

gesteigert werden. Die Übertragung einer Vorlage dauert einige Minuten. Will man nur Vorlagen mit Schwarz-Weiß-Werten, also ohne Halbtöne, übertragen (z. B. Strichzeichnungen, Wetterkarten, Schecks), so genügt auf der Empfangsseite ein *Faksimileschreiber* (z. B. nach dem *Hellfax-Verfahren*), der eine sofort sichtbare, dauerhafte Kopie herstellt. Die Signale steuern hier z. B. einen Elektromagneten, der ein Farbrädchen gegen das Papier drückt, oder es werden zwischen einer Metallspitze und Spezialpapier im Signalrhythmus Funken ausgelöst, die das Papier an der Überschlagsstelle schwärzen.

Zur drahtlosen Übertragung wird, um die Einflüsse von Störungen und Schwund zu vermindern, meistens eine Hilfsträgerfrequenz (NF) mit den Bildsignalen frequenzmoduliert, während die modulierte Hilfsträgerfrequenz den Sender amplitudenmoduliert. B. ist gegenwärtig auf den meisten internationalen Funklinien zwischen Großstationen durchführbar. Mit *Wetterkartenschreibern* sind zahlreiche Seeschiffe und auch Langstrecken-Verkehrsflugzeuge ausgerüstet.

Bildkontrast: Quotient aus max. und min. Leuchtdichte auf dem Bildschirm eines Fernsehempfängers. Der B. erreicht bei aluminisierten Bildschirmen (vgl. Bildröhre) und Abschirmung von Fremdlicht Werte von 100:1. Er ist bei sämtlichen Fernsehempfängern von Hand verstellbar oder regelt sich selbsttätig.

Bildplatte: entscheidender Bestandteil von Systemen zur Speicherung, anschließender Vervielfältigung und Wiedergabe optisch-akustischer Darbietungen für Unterhaltungs-, Unterrichtszwecke u. a. über Fernsehempfänger. Die B. nutzt weiterentwickelte Elemente und Prinzipien der Schallplattentechnik, vor allem die Signalspeicherung durch die einer spiralförmigen Spur eingeprägten Verformungen einer bei Aufnahme und Wiedergabe rotierenden Kreisscheibe bzw. -folie.

B.nsysteme sind für Schwarz-Weiß- und Farbwiedergabe geeignet. Die Signale werden zur Wiedergabe in den Höchstfrequenzbereich umgesetzt und dem Fernsehempfänger über den Antennenanschluß eingespeist. Unterschiede der B.nsysteme bestehen vor allem in der Art der Codierung der Signale in der Spiralrinne und im Abtastverfahren.

Beim *TED-System* [von engl. *t*elevision *d*isk, Fernseh-Platte] werden die Signale ähnlich wie bei Schallplatten in Tiefenschrift auf eine 0,12 mm dicke PVC-Folie aufgezeichnet und zur Wiedergabe von einem piezokeramischen Wandler abgetastet. Sein kufenförmiges Abtastelement (Diamant) reagiert auf Druckschwankungen, die dadurch entstehen, daß das jeweils abgetastete Rillenstück elastisch verformt und an der Rückenflanke des Abtastelements plötzlich wieder entlastet wird. Der Abtaster wird nicht unmittelbar von der Rille geführt, sondern durch einen mit der Antriebsachse gekoppelten Zwangsvorschub.

Das *VLP-System* (*V*ideo-*L*angspielplatte) benutzt als Träger Scheiben aus gleichem Material und von gleichen Abmessungen wie Langspiel-Schallplatten. Die Signale sind als Reihe mikroskopischer, länglicher Vertiefungen in der Spur gespeichert (sog. Pits, „Grübchen"). Länge und Abstand der Pits liefern die Farb- bzw. Helligkeitssignale (vgl. Fernsehen 2.). Die einen reflektierenden Belag tragende Plattenoberfläche wird berührungslos vom nahezu auf einen Punkt fokussierten Lichtstrahl eines ↑ Lasers sehr geringer Leistung abgetastet. Das von Pits und Zwischenräumen unterschiedlich reflektierte Licht wird durch eine Fotodiode in elektrische Signale umgewandelt. Der Vorschub des optischen Abtastsystems erfolgt ähnlich wie beim TED-System.

Ein weiteres Verfahren beruht auf kapazitiver Abtastung. Die metallisierte Plattenoberfläche wird von einem Saphir abgetastet, der wie bei Schallplatten durch die spiralförmige Rinne geführt wird. Die zwischen der Platte und einer auf dem Saphir angeordneten sehr kleinen Elektrode im Signalrhythmus schwankende Kapazität moduliert die Frequenz eines HF-Oszillators.

Die Umdrehungszahl der B. wird i. allg. so festgelegt, daß einer Umdrehung ein vollständiges Fernsehbild entspricht (bei 25 Bildwechseln/s 1 500 min^{-1}). Die Laufzeit einer Plattenseite liegt je nach Plattendurchmesser und angewandtem Verfahren zwischen 5 und 30 min. Vgl. auch Fernsehaufzeichnung.

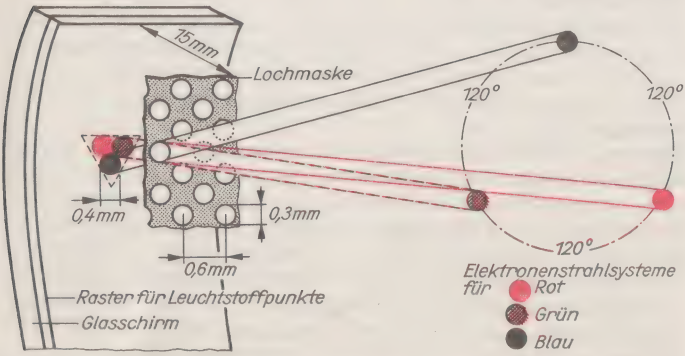
Bildröhre, *Bildwiedergaberöhre*: ↑ Elektronenstrahlröhre zur Bildwiedergabe in Fernsehempfängern, wobei ein nach Gesetzen der Elektronenoptik beeinflußter Elektronenstrahl ein elektrisches Signal in ein optisches Bild umsetzt. Der konische Glaskolben trägt auf der Innenseite seiner schwach nach außen gewölbten, nahezu rechteckigen Stirnfläche den ↑ Bildschirm. Im Kolbenhals sind die Elektroden zur Strahlerzeugung und -fokussierung untergebracht, während die zu einer konstruktiven Einheit zusammengefaßten Ablenkspulen den Kolbenhals von außen umfassen.

Die Lufthülle übt allein auf den Bildschirm eine Kraft von mehreren

10^3 N aus, die die Gefahr einer Zerstörung der B. (*B.nimplosion* mit explosionsartig auseinanderfliegenden Glassplittern) in sich birgt. Dies führte zur Entwicklung der gegenwärtig allg. angewandten *implosionsgeschützten B.*, deren bes. gefährdete Teile durch einen mit einer Füllmasse ausgegossenen Metallrahmen oder durch Bedeckung mit einer Schicht aus glasfaserverstärktem Polyester und Anbringen eines metallischen Spannbands geschützt werden. Sie ermöglichten die „Durchstecktechnik", bei der die B. etwas aus der Frontseite des Empfängers herausragt und so dessen Bautiefe weiter verringert wird.

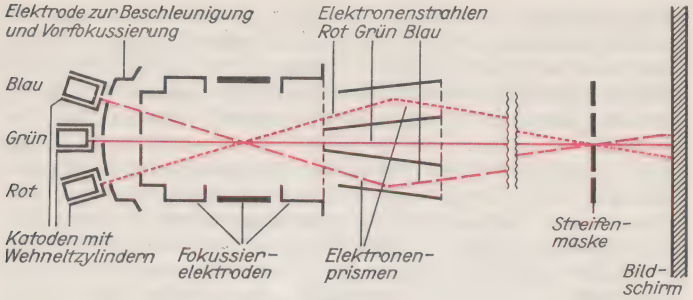
1. *B. für Schwarz-Weiß-Wiedergabe* (*Schwarz-Weiß-B.*): Während bei den ersten Fernsehgeräten der Elektronenstrahl elektromagnetisch fokussiert wurde, hat sich in den vergangenen Jahren allg. die *elektrostatische Fokussierung* durchgesetzt, die zur Verkürzung des Kolbenhalses und damit zur Verringerung der B.nlänge führte. Durch die für B. eingeführte *elektromagnetische Ablenkung* konnte der Ablenkwinkel des Elektronenstrahls bis auf gegenwärtig 110° vergrößert und die Bautiefe der Fernsehempfänger verringert werden. Zur Ablenkung dienen 2 um 90° versetzte Spulenpaare. Wären ihre Magnetfelder völlig homogen, so müßte der Bildschirm Teil einer Kugelfläche sein (gleichbleibende Länge des Elektronenstrahls bei der Ablenkung). Um aber einen möglichst „ebenen" Bildschirm zu erzielen, kompensiert man die bei einem solchen bes. am Rande auftretenden Verzerrungen durch bewußt herbeigeführte Inhomogenitäten der ablenkenden Magnetfelder. Dies geschieht durch entspr. Formgebung der Ablenkspulen und durch zusätzliche Entzerrungsmagneten (Dauermagneten) im Ablenksystem.

2. *B. für farbige Wiedergabe* (*Farb-B.*): Der verbreitetste Typ ist die *Lochmaskenröhre*, auch *Dreistrahlmasken-* oder *Schattenmaskenröhre* genannt. Sie enthält je ein Strahlerzeugungssystem für die Grundfarben Rot, Grün und Blau. Diese Systeme sind symmetrisch um die Mittelachse der Röhre angeordnet, ihre Elektronenstrahlen werden gemeinsam ab-



Bildröhre, Abb. 1: Entstehung des farbigen Bilds in der Lochmaskenröhre

gelenkt. Dicht vor dem Bildschirm ist die Lochmaske angeordnet, ein dünnes Stahlblech mit etwa $4 \cdot 10^5$ Löchern in regelmäßiger geometrischer Anordnung. Die Strahlerzeugungssysteme haben gegenüber der Röhrenachse eine solche Neigung, daß sich die Elektronenstrahlen in der Ebene der Maskenlöcher schneiden (*Konvergenzbedingung*, s. u.). Der Bildschirm besteht aus $3 \times 4 \cdot 10^5$ Leuchtstoffelementen, von denen jeweils 3 – ein Farbtripel – die Ecken eines gleichseitigen Dreiecks bilden, in den Farben Rot, Grün, Blau leuchten und einem Maskenloch zugeordnet sind. Durch die geometrische Anordnung der Strahlerzeugungssysteme, der Maskenlöcher und der Farbtripel wird erreicht, daß der einer Grundfarbe zugeordnete Elektronenstrahl nur die dieser Grundfarbe entspr. Ecke eines Farbtripels trifft und aufleuchten läßt. Das Auge löst bei hinreichendem Betrachtungsabstand die einzelnen Farbpunkte nicht auf und gewinnt durch additive Farbmischung einen Farbeindruck, der mit großer Näherung der von der Aufnahmekamera abgetasteten Bildstelle entspricht. Die Funktion der Lochmaskenröhre wird entscheidend durch das exakte Zusammenwirken zwischen Maskenlöchern und Farbtripeln bestimmt; die Anforderungen an die Qualität der Röhrenherstellung und an die Führung der Elektronenstrahlen sind daher ungewöhnlich groß (z. B. technologische Maßnahmen zum Kompensieren der Wärmeausdehnung der Lochmaske. Trotzdem ist die Konvergenzbedingung ohne zusätzliche Maßnahmen nicht zu erfüllen. Mit Hilfe des auf den B.nhals geschobenen *Konvergenzsystems* werden Konvergenzfehler korrigiert. Der Herbeiführung *statischer Konvergenz*, d. h. der Beseitigung eines bei nicht abgelenkten Elektronenstrahlen bereits auftretenden Konvergenzfehlers, dienen 3 bzw. 4 einstellbare Permanentmagneten, mit denen sich die Elektronenstrahlen in radialer Richtung (der „blaue" Elektronenstrahl zusätzlich in tangentialer) etwas verschieben lassen.
Für die *dynamische Konvergenz*, die Konvergenz der abgelenkten Elektronenstrahlen (insbes. an den Bildrändern) sind bes. Korrekturströme nötig. Sie werden in einer Konvergenzschaltung (vgl. Fernsehempfänger 2.) gewonnen und durchfließen den Elektronenstrahlen zugeordnete Ablenkspulenpaare im Konvergenzsystem.
Eine Variante der Lochmaskenröhre, die *Schlitzmaskenröhre*, verwendet 3 in einer Ebene nebeneinanderliegende strahlerzeugende Systeme (daher auch Bez. *Inline-B.*). Die Maske ist mit sich in vertikaler Richtung erstreckenden Langlöchern versehen, der Bildschirm ist aus nebeneinanderliegenden, senkrechten Farbstreifen zusammengesetzt. Die Schlitzmaskenröhre zeichnet sich gegenüber der Lochmaskenröhre durch größere Bildhelligkeit und -schärfe sowie durch geringeren Aufwand für Einstellen und Aufrechterhalten der Konvergenz aus.
Von weiteren Farb-B. mit Leuchtstoffstreifen – z. B. *Chromatron* mit einer Gittermaske aus zahlreichen Paralleldrähten und 3 bzw. 1 strahlerzeugenden Systemen (Dreistrahl- bzw. Einstrahlchromatron) – wird z. Z. nur das *Trinitron* in größerer Stückzahl für Fernsehempfänger produziert (Abb. 2).



Bildröhre, Abb. 2: Strahlengang im Trinitron

Die von 3 in einer Ebene liegenden Katoden ausgehenden Elektronenbündel werden durch an unterschiedlicher Spannung liegende Fokussierelektroden (↑ Elektronenoptik) gemeinsam fokussiert und durch als Elektronenprismen wirkende Elektroden so geführt, daß sie in der Ebene der sog. Streifenmaske (Gittermaske) konvergieren. Diese ist ein dünnes Stahlblech mit zahlreichen eingeätzten vertikalen Streifen. Nach Durchlaufen der Maske treffen die Elektronen auf die Leuchtstoffstreifen.

Ohne Maske kommt die bisher wenig benutzte *Strahlindex-B.* aus. Der abgelenkte Elektronenstrahl trifft zwischen den Leuchtstoffstreifen auf sog. Indexstreifen und löst dort Sekundärelektronen bzw. UV-Strahlung aus. Sekundärelektronen bzw. UV-Strahlung werden – entspr. aufbereitet – genutzt, um die Farbinformationen an das strahlerzeugende System zu schalten.

Ebenfalls ohne Maske arbeitet die *Penetrations-Farb-B.* Ihr aus mehreren übereinanderliegenden Leuchtstoffschichten bestehender Bildschirm wird von Elektronenstrahlen unterschiedlicher Teilchengeschwindigkeit, jeweils einem strahlerzeugenden System entstammend, getroffen, wobei die schnellsten Elektronen bis in die katodenfernste Leuchtstoffschicht vordringen, diese anregen usw.

Strahlindex- und Penetrations-Farb-B. erfordern hohen Schaltungsaufwand und werden vorerst nur für Sonderzwecke eingesetzt.

Bildschirm, *Leuchtschirm*: Beobachtungsfläche einer Elektronenstrahlröhre (Bildröhre, Oszillographenröhre), eines Bildwandlers, Röntgenbildverstärkers o. a. Der Röhrenkolben ist im betr. Teil auf der Innenseite mit *Leuchtstoff* bedeckt, der die Energie aufprallender schneller Teilchen – meist von Elektronen – oder sehr kurzer elektromagnetischer Wellen (z. B. von Röntgenstrahlen) ohne wesentliche Temperaturerhöhung in sichtbares Licht umsetzt (Lumineszenz). Als Leuchtstoffe finden vor allem Gemische von Zink-, Kadmium- und Wolframverbindungen Verwendung, denen ein Aktivator, d. h. Spuren eines Schwermetalls (z. B. Silber, Kupfer, Mangan), zugesetzt wird. Durch Auswahl und entspr. Aktivierung eines oder durch Mischen mehrerer Leuchtstoffe läßt sich

jede gewünschte Farbe des B. erreichen. Für die visuelle Beobachtung bevorzugt man gelbgrün, für fotografische Aufnahmen blau oder blaugrün leuchtende B. Fernseh-B. für Schwarz-Weiß-Empfänger weisen meist eine Leuchtstoffschicht aus einer mit Silber aktivierten Mischung von Zinksulfid und Zinkkadmiumsulfid auf und leuchten (ohne Bildsignal) gelblich-weiß.

Nach dem Ende der Anregung durch Elektronen oder elektromagnetische Wellen klingt das Leuchten des B. nach einem Exponential- oder hyperbolischem Gesetz allmählich ab. Die Dauer dieses Nachleuchtens kann innerhalb weiter Grenzen gewählt werden und beträgt z. B. einige Mikrosekunden bei Fernseh-B.en (kein „Flimmern" durch zu rasches Abklingen, kein „Verschmieren" schnell bewegter Objekte durch zu langes Nachleuchten), mehrere Sekunden für B. von Oszillographenröhren, bis zu einer Minute und darüber bei B. von Radargeräten. Noch größere Nachleuchtdauer haben zweischichtige B., bei denen die eine Leuchtstoffschicht zu hellem, rasch abklingendem Leuchten angeregt wird und ihrerseits eine zweite mit großer Nachleuchtdauer anregt. Da in Elektronenstrahlröhren kein vollkommenes Vakuum herstellbar ist, störten anfänglich stets vorhandene negative Gasionen. Sie wurden gleichfalls zum B. beschleunigt, wegen ihrer erheblichen Masse aber kaum abgelenkt und riefen in der B.mitte einen *Ionenfleck* hervor, in dessen Bereich das Bild dunkler als in der Umgebung erschien. Bes. in Bildröhren verhindert man den störenden Einfluß der Ionen durch *Aluminisierung* des B.: Seine Rückseite ist mit einer nur Bruchteile eines Mikrometers dicken Aluminiumschicht hinterlegt, die die Elektronen nicht behindert, aber die Ionen zurückhält. Außerdem fördert diese Metallhinterlegung Bildhelligkeit und -kontrast, indem Lichtverluste infolge Strahlung in das Röhreninnere vermieden werden und Reflexionen, die sonst im Röhreninneren auftreten und durch Streustrahlung von hinten den Bildkontrast verringern würden, entfallen.

B. von Farbbildröhren (↑ Bildröhre 2.) sind aus regelmäßig angeordneten Leuchtstoffteilchen – z. B. in gleichseitigen Dreiecken oder als parallele Streifen – zusammengesetzt, die in verschiedenen Farben leuchten. Für Farbbildröhren werden gegenwärtig Zinksulfid für die Grundfarbe blau, Zinkkadmiumsulfid für die Grundfarbe grün (beide durch definierten Zusatz von Silberatomen aktiviert), Yttriumvanadat (mit Europium aktiviert) für die Grundfarbe rot bevorzugt. Häufig wird das B.glas grau eingefärbt, um kontrastmindernde Reflexionen an der Grenzfläche Glas-Luft und die Spiegelung äußerer Lichtquellen (Fenster, Lampen) zu schwächen.

Bildschirmanzeigegerät ↑ Datensichtgerät.

Bildsignal ↑ Fernsehen.

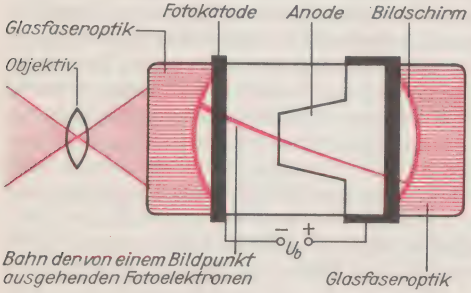
Bildtelegrafie ↑ Bildfunk.

Bildverstärker(röhre): Sonderform der ↑ Bildwandler(röhre) zur Steigerung der Helligkeit eines Eingangsbildes im gleichen Spektralbereich. Bes. Bedeutung erlangten *Kaskaden-B.*, mit denen eine mehrtausend-

fache Helligkeitssteigerung möglich ist. Die Fotoelektronen erzeugen in einer Bildwandlerröhre ein Bild auf einer mit Leuchtstoff bedeckten Elektrode, die gleichzeitig eine weitere Fotokatode trägt. Dieses Verfahren kann mehrfach wiederholt werden. B. werden z. B. in der Astronomie und als *Röntgen-B.* zur Beobachtung von Röntgen-Schirmbildern verwendet.

Da das Schirmbild einer B. durch Steuerung der Beschleunigungsspannung, eine zusätzliche Steuerelektrode oder kurzzeitige Ablenkung der Fotoelektronen nahezu trägheitslos auf- und zugeblendet werden kann, eignet sich die B. auch als elektronischer Verschluß für fotografische Aufnahmen sehr kurzer Belichtungsdauer (bis 10^{-9} s, z. B. Untersuchung von Explosions- und Stoßvorgängen, Nebelkammeraufnahmen).

Bildwandler(röhre): wichtigster Bestandteil einer elektronenoptischen Einrichtung, in der optische Bilder eines gegebenen Spektralbereichs durch Fotoemission in „Elektronenbilder" verwandelt und anschließend auf einem Bildschirm wieder sichtbar werden. Durch ein Linsensystem wird das wiederzugebende Bild, oft über eine Lichtverluste vermindernde



Bildwandlerröhre

Glasfaseroptik, auf eine in einer Stirnwand des evakuierten B.kolbens angeordnete Fotokatode geworfen. Sie emittiert an jedem Bildelement eine dessen Beleuchtungsstärke entspr. Anzahl von Fotoelektronen. Diese werden durch eine Spannung U_b von mehreren kV beschleunigt und gleichzeitig durch eine magnetische oder elektrostatische Linse (↑ Elektronenoptik) so geführt, daß bei ihrem Auftreffen auf dem Bildschirm erneut ein beobachtbares Bild entsteht, das gegenüber dem Bild auf der Fotokatode heller und auch vergrößert oder verkleinert sein kann.

Die größte Empfindlichkeit der Fotokatode kann je nach Aufgabe des B. in den sichtbaren, infraroten oder ultravioletten Bereich verlegt werden. Diese Möglichkeit, unsichtbare in sichtbare Strahlung umzusetzen, wird häufig angewendet, bes. im Infrarotbereich. Objekte, die eine gegenüber ihrer Umgebung unterschiedliche Temperatur haben (z. B. erhitzte Werkstücke, Motoren, Raketentriebwerke), lassen sich so im Dunkeln beobachten bzw. ausmachen. *Nachtsichtgeräte* enthalten als wichtigste Bauelemente einen *Infrarot-B.* und sind häufig mit einem Infrarotschein-

werfer gekoppelt, z. B. Nachtsichtgeräte in Panzern und für die Tierfotografie, Zieleinrichtungen, Raumschutzanlagen.

Binärglied: Schaltglied, das binäre Eingangssignale zu binären Ausgangssignalen verarbeitet. B.er haben entweder je einen Ein- und Ausgang und wandeln dann die Eingangssignale direkt in andere binäre Signale um, oder sie weisen mehrere Eingänge auf, deren binäre Signale sie nach den Regeln der Schaltalgebra verknüpfen und einem Ausgang zuleiten.

Binärsystem ↑ Dualsystem.

Bionik: interdisziplinäre wissenschaftliche Richtung mit dem Ziel, die hohe Leistungsfähigkeit biologischer Systeme den verschiedensten Gebieten der Technik nutzbar zu machen. Dazu werden die Kenntnisse von biologischen Prinzipien, die sich im Verlauf der Jahrmillionen währenden Entwicklung des Pflanzen- und Tierreichs zu weitgehender Vollkommenheit herausgebildet haben, systematisch gesammelt und u. a. mit Hilfe kybernetischer Methoden ausgewertet. Ergebnisse folgender wissenschaftlicher Disziplinen fließen u. a. in die B. ein: Biologie, Physiologie, Neurologie, Neurophysiologie, Psychologie, Physik, Biophysik, Nachrichtentechnik, Schiffs- und Luftfahrttechnik. Biologische Vorbilder können als Modell für technisch optimale oder neuartige Lösungen dienen, wie sie im Zeitalter des wissenschaftlich-technischen Fortschritts verlangt werden. Da aber die interessierenden biologischen Systeme neben ihren Vorteilen auch Nachteile aufweisen, darf nicht ein ausschl. Kopieren, sondern muß ein schöpferisches Übertragen der wesentlichen Eigenschaften in den technischen Bereich erfolgen. Ein spezielles, sehr wichtiges Arbeitsgebiet der B. ist die Übertragung bzw. Anwendung derjenigen Funktionsprinzipien, die in lebenden Systemen bei der Aufnahme, Übertragung, Speicherung und Verarbeitung von Informationen wirksam sind. Obwohl zur technischen Nachbildung biologischer Vorbilder sehr oft elektronische Verfahren herangezogen werden, ist die Meinung falsch, der Ausdruck B. sei aus der Zusammenziehung von „Biologie" und „Elektronik" entstanden. B. ist die deutsche Version von „bionics", hergeleitet von den griech. Wörtern „bios" (Leben) und „-onics" (Studium von ...) bzw. „technikē" (zur Kunst[fertigkeit] gehörend), und wurde 1960 geprägt.

Bit [von engl. *b*inary dig*it*, Binärschritt, Binärstelle]: a) Größe des Informationsgehalts eines von 2 möglichen Ereignissen („ja" – „nein", „richtig" – „falsch", „L" – „0") und b) kleinste Darstellungseinheit für Binärdaten und Bez. für eine Binärziffer oder -stelle („0" oder „L"), d. h. die Stelle eines binären Signals. Die Maßeinheit dieser Größe heißt *bit* oder *Nachrichteneinheit*. Eine Folge von Binärschritten, die als Einheit verwendet werden (z. B. bis 8 bit), heißt in der EDVA *Byte* oder *Zeichen*. Da in der Elektronik, insbes. in EDVA, die Binärziffern meist durch Spannungszustände dargestellt werden (vgl. logische Grundschaltungen), hat sich als zweckmäßig erwiesen und eingeführt, statt „0" und „L" die Bez. „L" [engl. low, niedrig], und „H" [engl. high, hoch] zu benutzen.

Black-box [engl. schwarzer Kasten]: System oder Einrichtung, dessen (deren) Aufbau und innere Funktion zunächst weitgehend unbekannt sind, während Abhängigkeiten der Ausgangs- von den Eingangssignalen feststellbar sind. Durch systematische Untersuchung dieser Beziehungen, z. B. mit Hilfe von Test-Eingangssignalen, sind Rückschlüsse auf das Innere der B. möglich (*B.-Methode*). In der Elektronik werden z. B. integrierte Schaltungen vom Anwender häufig als B. behandelt, doch reicht die B.-Methode weit über den Bereich der Elektronik und ist eine der wichtigsten Methoden zur Untersuchung kybernetischer Systeme.

Blauschriftröhre ↑ Dunkelschriftröhre.

Blockschema: weitgehend vereinfachte Darstellung der Funktionsweise eines Geräts oder einer Anlage mit Hilfe von Symbolen, z. B. Rechtekken, die jeweils eine Baugruppe repräsentieren, ohne auf Einzelheiten innerhalb dieser Baugruppe und ihrer Wirkungsweise einzugehen, die als bekannt angenommen wird. Verbindungen und Wechselwirkungen der Baugruppen werden durch Striche, Pfeile u. ä. angegeben. Vgl. z. B. Abb. bei Fernsehempfänger.

BMSR-Technik: Abk. für ↑ Betriebsmeß-, Steuerungs- und Regelungstechnik.

Bodenwelle ↑ Wellenausbreitung.

Bogenentladung ↑ Gasentladungsröhre.

Bolometer: Einrichtung für Strahlungsmessungen bes. im IR-, auch im Mikrowellenbereich. Ein temperaturabhängiger, der Strahlung ausgesetzter Widerstand (z. B. dünner Platindraht, ↑ Thermistor), liegt in einer ↑ Brückenschaltung, mit deren Hilfe die Widerstandsänderung gemessen wird.

Bonden [engl. to bond, verbinden]: Bez. für Verfahren, mit deren Hilfe Schaltkreise mit den äußeren Anschlüssen versehen werden.

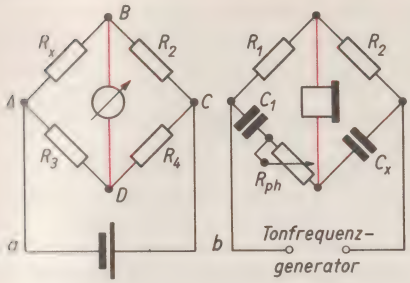
Boolesche Algebra: nach dem britischen Mathematiker *George Boole* benannter mathematischer Kalkül, der nur zweiwertige Größen bzw. Aussagen (z. B. „wahr" – „unwahr", „ja" – „nein", „H" – „L") verwendet und durch Verknüpfen dieser Größen zu logischen Aussagen und Schlußfolgerungen gelangt. Die B. A. ist die Grundlage der ↑ Schalt-(ungs)algebra. Da in der Elektronik die zweiwertigen Aussagen meist durch 2 Spannungszustände realisiert werden, benutzt man die Bez. „L" [engl. low, niedrig] und „H" [engl. high, hoch].

Braunsche Röhre: Bez. für die ersten von dem deutschen Physiker *Karl Ferdinand Braun* 1897 entwickelten ↑ Oszillographenröhren.

Bremsgitter ↑ Elektronenröhre.

Brennspannung ↑ Gasentladungsröhre.

Brückenschaltung: Schaltung zur Messung von Widerständen, Kapazitäten, Induktivitäten, Verlustwinkeln, Frequenzen u. a. elektrischen Größen durch Vergleichen der unbekannten mit bekannten Größen. Alle B.en lassen sich auf die nach dem britischen Physiker *Charles Wheatstone* benannte *Wheatstonesche Brücke* zurückführen (Abb. a): Ist R_x der unbekannte Widerstand, und werden die bekannten Widerstände R_2 bis



Brückenschaltungen:
a Wheatstonesche Brücke, *b* Meßbrücke für Kapazitätsmessungen

R_4 so gewählt oder eingestellt, daß der Diagonalzweig *BD* stromlos bleibt (keine Spannung zwischen *B* und *D*), dann gilt $R_x : R_2 = R_3 : R_4$, und daraus $R_x = R_2(R_3/R_4)$. R_3 und R_4 werden meist als durchgehender Meßdraht ausgeführt, auf dem der Diagonalendpunkt *D* als Schleifer gleitet. Dann ist $R_3 : R_4$ gleich dem Verhältnis der durch den Schleifer abgegrenzten Strecken und kann an einer Skale abgelesen werden. R_2 wird ausgewechselt oder umgeschaltet, bis die Nulleinstellung der Meßbrücke nahe der Meßdrahtmitte erreicht wird (hier gute Ablesbarkeit, da $R_1 : R_4$ nahe 1). Spannungsschwankungen der Gleichspannungsquelle beeinflussen das Meßergebnis nicht.

Die B. ist auch für die Messung von induktiven und kapazitiven Widerständen und damit für Induktivitäts- und Kapazitätsmessungen geeignet. Als Speisespannung dient dann eine Tonfrequenzspannung, an die Stelle des Brückeninstruments tritt z. B. ein Kopfhörer, in dem das Verschwinden des Tons die Stromlosigkeit des Diagonalzweigs bedeutet. Für die Kapazitätsmessungen z. B. gilt für die abgeglichene Brücke $R_1 : R_2 = C_1 : C_x$, wobei zusätzlich die Bedingung $\varphi_1 = \varphi_2$ erfüllt sein muß, d. h. beide Kondensatoren den gleichen Phasenwinkel haben müssen (Abb. *b*). Da dies für verlustbehaftete Kondensatoren nicht zutrifft, wird die Gleichheit der Phasenwinkel durch einen zusätzlichen veränderbaren Widerstand, den Phasenregler R_{ph}, erreicht. Seine Einstellung ist zugleich ein Maß für den Verlustwinkel des unbekannten Kondensators C_x. Bei der Messung von Induktivitäten wird entspr. verfahren.

Aus der Grundform der B. wurden zahlreiche Sonderformen abgeleitet. So wird z. B. zur Messung sehr kleiner Widerstände die *Thomsonsche B.* benutzt, bei der die Zuleitungs- und Kontaktwiderstände nicht in das Meßergebnis eingehen; die *Wiensche B.* wird für Kapazitäts- und Verlustwinkelmessungen, die *Maxwellsche B.* für Induktivitätsmessungen bevorzugt. Die *Resonanz-B.* findet für Frequenzmessungen Anwendung, während die *Doppel-T-B.* bes. für Messungen an Wechselstromwiderständen im HF-Bereich benutzt wird. Häufig sind B.en mit einer zusätzlichen Regelschaltung versehen, die den Abgleich bis zur Stromlosigkeit des Diagonalzweigs selbsttätig ausführt. Der im Diagonalzweig einer B. bei gestörtem Abgleich fließende Strom bzw. die zwischen den Dia-

gonalendpunkten auftretende Spannung wird in der BMSR-Technik häufig genutzt. Liegt in einem Brückenzweig ein Meßfühler, z. B. ein Widerstandsthermometer, und wird die Brücke für eine bestimmte Temperatur abgeglichen, dann macht sich jede Temperaturänderung durch einen Strom (bzw. eine Spannung) im Diagonalzweig bemerkbar, der als Ausgangsgröße für Steuerungs- und Regelungseinrichtungen dienen kann. In der HF-Technik nutzt man B.en u. a. in Filtern und zur ↑ Neutralisation, außerdem in Empfängern mit additiver Mischung zum Vermeiden schädlicher Oszillatorausstrahlung über die Antenne.

Brummspannung: unerwünschte Wechselspannung (mit der Frequenz der Netzspannung oder mit einem ganzzahligen Vielfachen dieser Frequenz), die z. B. einen Brummton in Lautsprechern oder waagerechte, dunkle, in vertikaler Richtung über einen Bildschirm wandernde Streifen verursacht. B. dringt meist über das Netzanschlußteil in das Gerät ein (vgl. Siebkette), kann aber auch durch magnetische Felder von Transformatoren oder wechselstromführenden Leitungen hervorgerufen werden. Häufig ist daher, z. B. in Mikrofonkabeln oder Eingangsstufen von Verstärkern, eine bes. Abschirmung nötig.

Byte ↑ Bit.

C

Carcinotron ↑ Rückwärtswellenröhre.

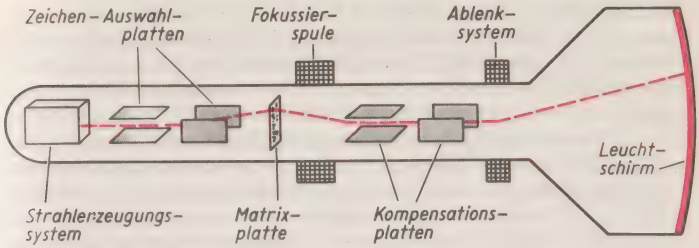
CATV: Abk. für engl. *C*able *Tele*vision, Kabelfernsehen, oder für *C*ommunity *A*ntenna *Tele*vision, Gemeinschafts-Antennen-Fernsehen, ↑ Kabelfernsehen.

CCD ↑ Ladungsverschiebungsschaltung.

CCIR ↑ Fernsehnorm.

Charaktron: ↑ Elektronenstrahlröhre, auf deren Bildschirm Buchstaben, Ziffern oder Symbole mit hoher Geschwindigkeit (bis zu mehreren 1 000 Zeichen/s) in beliebiger Auswahl und an beliebiger Stelle angezeigt werden können. Zur Zeichengewinnung ist senkrecht zur Röhrenachse eine Matrixplatte (Schablone) angeordnet, in die z. B. 12 × 12 Buchstaben, Ziffern, u. a. eingearbeitet sind. 2 Ablenkplatten-Paare (*Zeichen-Auswahl-Platten*) zwischen Matrix und Katode lenken den Elektronenstrahl auf das darzustellende Zeichen in der Matrixplatte, dessen Profil daher der Strahl nach Durchdringen der Platte hat. Er wird fokussiert und durch Kompensationsplatten erneut in die Röhrenachse gelenkt. Ein 2. Ablenksystem führt ihn an diejenige Stelle des Leuchtschirms, an der das Zeichen aufleuchten soll. Durch genügend raschen Wechsel der Ablenkspannungen an den Zeichen-Auswahl-Platten lassen sich Zeichengruppen oder Schriftzeilen wiedergeben.

Das C. wird zur Zeichenausgabe in ↑ Datensichtgeräten benutzt.



Charaktron

Chip [engl. Schnitzel, Scheibchen] *m*: i. w. S. Scheibchen, auf dem miniaturisierte Bauelemente oder eine integrierte Schaltung angeordnet sind und das verkappt und mit Anschlüssen versehen z. B. in ↑ gedruckte Schaltungen ein- oder Schaltkreisen in ↑ Hybridtechnik zur Ergänzung zugesetzt werden kann; i. e. S. Scheibchen aus einkristallinem Halbleitermaterial (meist Silizium), das in ↑ Halbleiterblocktechnik Transistoren und Dioden mit den durch die Schaltung vorgegebenen Verbindungsleitungen enthält. Die Zahl der Bauelemente je C. konnte mit fortschreitenden Halbleiter- und mikroelektronischen Technologien rasch gesteigert werden, so daß ein C. bei relativ wenigen äußeren Anschlüssen (< 50) komplizierte Funktionen übernehmen kann. Gegenwärtig nimmt 1 mm^2 C.oberfläche bis 300 Transistoren auf. C. mit etwa 10^4 Bauelementen sind (z. B. für Taschenrechner) verfügbar.

Chopper [engl. to chop, zerhacken]: in der Elektronik Meßumformer, der ein als Gleichspannung bzw. -strom vorliegendes Eingangssignal zur Steuerung eines Wechselspannungsverstärkers aufbereitet. 1 oder 2 Transistoren, die durch eine rechteckförmige, z. B. mittels eines ↑ Multivibrators gewonnene, Wechselspannung gesteuert werden, schalten die Eingangsspannung periodisch an den Ausgang des C., und das im Rhythmus der Steuerspannung unterbrochene, in der Amplitude dem Eingangssignal proportionale Ausgangssignal steuert den nachgeschalteten Verstärker.

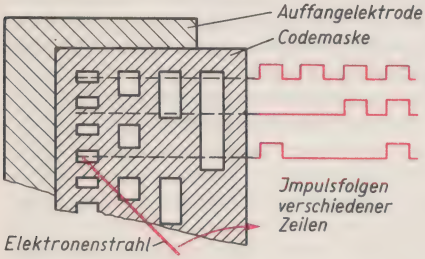
Chromatron ↑ Bildröhre 2.

Chromdioxidband ↑ Magnetband.

Clipper(filter) [von engl. to clip, beschneiden]: Einrichtung, mit der bei Funktelefonie das Sprachfrequenzband z. B. auf die international vereinbarte Breite von 300 Hz bis 3 400 Hz eingeengt wird und die bei der Modulation auftretenden Amplitudenspitzen von einer einstellbaren Schwelle an unterdrückt werden. C. enthalten zur Einengung des Sprachfrequenzbands Hoch- und Tiefpaßfilter (↑ Filter), zur Beschneidung der Amplitudenspitzen ↑ Begrenzer. Mit ihrer Hilfe kann ein hoher mittlerer Modulationsgrad (↑ Modulation) ohne die Gefahr einer Übersteuerung des Senders erzielt werden.

Closed-loop-Betrieb ↑ Prozeßrechner.

CMOS-Technik: 1. ↑ Schaltkreis. – **2.** ↑ Halbleiterblocktechnik.
Codierröhre: ↑ Elektronenstrahlröhre zur Umwandlung analoger in digitale elektrische Signale (vgl. Analog-Digital-Umsetzer). Die C. enthält ein Strahlerzeugungs- und ein Ablenksystem, die *Codemaske* und eine *Auffangelektrode*. Der Elektronenstrahl wird waagerecht zeitproportional über die Codemaske gelenkt und sprungartig an den Zeilenanfang zurückgeführt. Das analoge Signal, z. B. eine stetig verlaufende elektrische Spannung, steuert die Vertikalablenkung und damit die Höhe der waagerechten Zeile. In die Codemaske sind der vereinbarten Codierung entspr. Durchbrüche eingearbeitet. Durch sie erreicht der Elektronenstrahl die Auffangelektrode und löst im Stromkreis Katode-Auffangelektrode Strom- bzw. Spannungsimpulse aus. Sie entspr. den Durchbrüchen der



Zur Funktion der Codierröhre

durchlaufenden Zeile und sind damit eine Umsetzung des analogen Signals. C. werden in Schaltungen zur Pulscodemodulation (vgl. Modulation), zur digitalen Meßwertübertragung und in EDVA angewendet.
Computer [engl. Rechner]: gebräuchliche Bez. für einen Digital- oder Analogierechenautomaten.
Consol-Verfahren: im LW- und MW-Bereich (200 bis 415 kHz) arbeitendes Funkortungssystem der See- und Luftfahrt bis fast 2 500 km Entfernung. Ein Sender speist 2 Außenantennen (im Abstand von 3 bis 6 Wellenlängen voneinander) und eine Mittelantenne auf der Mitte ihrer Verbindungslinie. Die Feldstärke der Senderausstrahlung an einem Empfangsort hängt davon ab, ob sich die Wellen aufgrund der Phasenverschiebung durch unterschiedliche Laufwege verstärken, schwächen oder auslöschen. Es entsteht ein aus Keulen (*Sektoren* genannt) strahlenförmig zusammengesetztes Richtungsdiagramm, das periodisch um eine Sektorenbreite geschwenkt wird, indem die Außenantennen mit stetig verändertem Phasenunterschied gespeist werden. Außerdem wird die Phase an den Außenantennen im Punkt-Strich-Rhythmus um 180° umgetastet. Die Mittelantenne und die Außenantenne ergeben ein resultierendes Feld, in dem je nach dem Empfängerstandort die Strich- oder die Punkttastung deutlicher hervortritt. Beide Bereiche sind durch einen Dauerstrich (gleiche Intensität von Punkt- und Strichtastung) voneinander getrennt. Der Navigator braucht bei der Schwenkung des Richtungsdia-

gramms lediglich die hörbaren Punkte bzw. Striche bis zum Dauerstrich zu zählen und danach auf einer Spezialkarte die Standlinie festzustellen. Abhören einer 2. Consol-Station ergibt die zur Standortbestimmung nötige 2. Standlinie. Im Arbeitszyklus des C. wechseln Schwenken des Richtungsdiagramms und Ausstrahlen von Peilzeichen sowie einer Kennung (beide nur durch den Mittelsender) einander ab. Consol-Stationen arbeiten an der europäischen Atlantikküste, an der Küste der Barentssee und des Weißen Meeres (UdSSR) und in den USA (ohne Mittelantenne). Ein wichtiger Vorzug des C. ist, daß außer einem normalen Funkempfänger und Spezialkarten keine Bordausrüstung nötig ist, so daß man danach auch auf kleinen Fischereifahrzeugen navigieren kann.

Cubical Quad ↑ Antenne 2.3.

D

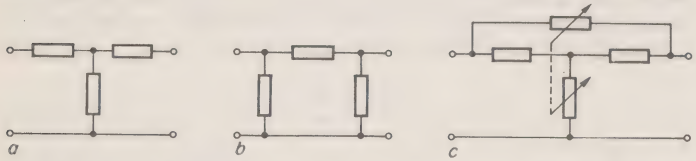
Dachkapazität ↑ Antenne.

Dämmerungseffekt ↑ Peilanlage.

Dämmerungsschalter: fotoelektronisches Gerät, das Lichtanlagen in Abhängigkeit von der natürlichen Helligkeit (Beleuchtungsstärke des Tageslichts) selbsttätig ein- und ausschaltet, z. B. Straßenbeleuchtungen, Lampen auf Werkhöfen, Bahnhöfen, Baugelände u. ä., die Anflug- und Hindernisbefeuerung auf bzw. um Flughäfen, Leuchtfeuer, Leuchtreklamen oder die Parkleuchten von Kraftwagen. Die Beleuchtungsstärke beeinflußt den Widerstand eines stromdurchflossenen ↑ Fotowiderstands (Fotodiode, -zelle). Der sich dadurch ändernde Strom ruft an einem Außenwiderstand einen beleuchtungsstärkeabhängigen Spannungsabfall hervor, der verstärkt wird und als Steuerspannung für die Schalteinrichtung der Lichtquellen dient. Diese werden eingeschaltet, sobald die Beleuchtungsstärke einen wählbaren Wert unterschreitet, und ausgeschaltet, sobald sie diesen Wert wieder übertrifft. Häufig sind bes. Verzögerungsglieder nötig, um zu verhindern, daß der D. auf kurzzeitige Beleuchtungsstärkeänderungen (Blitze, Licht von Autoscheinwerfern u. a.) anspricht.

Dämpfung: Abnahme der Amplitude von Schwingungen, verursacht durch Umwandlung von Schwingungsenergie in eine andere Energieform, z. B. in Wärme infolge des Ohmschen Widerstandes von Schwingungskreisen, durch Induzieren von Wirbelströmen in benachbarten Leitern, durch Energieabstrahlung einer Antenne, durch Ohmsche, dielektrische und kapazitive Verluste auf einer Übertragungsleitung usw. Man mißt die Dämpfung durch das Amplitudenverhältnis aufeinanderfolgender Schwingungen bzw. durch dessen natürlichen Logarithmus, das *logarithmische Dekrement*. Die Auswirkungen der D. können oft durch Entdämpfung, z. B. durch ↑ Rückkopplung, aufgehoben werden.

Dämpfungsglied: passiver ↑ Vierpol zur vorgegebenen, frequenzunabhängigen Reduzierung von Spannung, Strom oder Leistung auf einem Übertragungswege. D.er werden aus Ohmschen Widerständen, seltener aus Kondensatoren, zusammengestellt. Grundform sind das T- und das π-Glied. Zur einstellbaren Reduzierung dienen z. B. überbrückte T-Glieder. D.er werden u. a. in der Meßtechnik (z. B. Dämpfungs- und Verstärkungsmessungen) sowie zur Pegelanpassung und -einstellung auf Übertragungsleitungen (z. B. Fernmeldetechnik, elektroakustische Anlagen) benutzt.



Dämpfungsglied: a T-Glied, *b* π-Glied, *c* überbrücktes T-Glied

Darlington-Schaltung ↑ Verstärker 3.4.

Datenerfassungsanlage: Einrichtung zur selbsttätigen Aufnahme, Speicherung und Registrierung zahlreicher Meß- und Betriebswerte in umfangreichen oder bzw. und verzweigten technischen Anlagen (z. B. in Kraftwerken, Chemiebetrieben auf Schiffen). Die an den interessierenden Stellen angebrachten Meßwertaufnehmer (-geber, oft mehrere Hundert) werden zyklisch bzw. nach einem bestimmten Programm oder fortlaufend abgefragt. Ihre Signale laufen in der D. zusammen, die die Werte anzeigt, speichert und periodisch ausdruckt. Über- bzw. Unterschreitung festgelegter Grenzwerte sowie Ausfälle von Meßwertaufnehmern werden sofort zusätzlich signalisiert (*Grenzwertsignalisation, Störwertmeldeanlage*); ein Abfragen einzelner Meßstellen von Hand ist jederzeit möglich. Eine D. liefert laufend eine schriftliche Unterlage über den jeweiligen Betriebszustand einer Anlage, ohne daß Personen für das ermüdende – und i. allg. mehr Fehler ergebende – Ablesen und Eintragen von Meßwerten eingesetzt werden müssen.

Datenfernübertragung: Übertragung meist in binärer Form vorliegender bzw. in diese umgesetzter Daten in Form elektrischer Signale zwischen der Zentraleinheit eines Digitalrechenautomaten und entfernten Stellen des Datenanfalls oder bzw. und der Datenauswertung (*Datenendplätze*) oder zwischen EDVA mit Mitteln der Nachrichtentechnik. Bei Übertragung im *Duplexverkehr* (vgl. Sprechfunk) werden 2 Nachrichtenkanäle benötigt, die gleichzeitig in beiden Richtungen (z. B. Eingabedaten in der einen, Ergebnisdaten und Rückmeldungen in der anderen Richtung) betrieben werden; bei Anwendung des *Semiduplexverkehrs* wird 1 Nachrichtenkanal wechselweise in beiden Richtungen benutzt. Gegenwärtig wird für die D. meist das öffentliche Fernschreib- oder Fernsprechnetz mit Übertragungsgeschwindigkeiten von z. B. 50 bit/s bzw. 600 oder

1 200 bit/s benutzt. Für Übertragungsgeschwindigkeiten > 2 400 bit/s sind Breitbandleitungen erforderlich. Da die Fehlersicherheit üblicher Nachrichtensysteme den Anforderungen der Datenverarbeitung selten genügt, müssen Möglichkeiten zur Fehlererkennung und -korrektur vorgesehen werden. Beim *Blocksicherungsverfahren* werden die Daten als Blöcke konstanter Länge und Bitzahl übertragen (vgl. Bit). Am Ende der Übertragungsstrecke prüft ein *Fehlerkorrekturgerät*, ob diese Bedingungen eingehalten wurden, und veranlaßt bei Abweichungen durch Rückfrage die Wiederholung des fehlerhaften Blocks. Auch beim ↑ Funkfernschreiben gebräuchliche Methoden zur Fehlererkennung und -korrektur werden, entspr. abgewandelt, benutzt. Da die zu übertragenden Daten als Gleichstromimpulse vorliegen, ist bei D. über das für Wechselstromübertragung ausgelegte Fernsprechnetz eine Umwandlung der Gleichstrom- in Wechselstromimpulse und zurück durch Modulatoren bzw. Demodulatoren (*Modem*) erforderlich. Zunehmend werden für die D. auch spezielle Nachrichtenverbindungen (z. B. Kabel, Richtfunkstrecken, Nachrichtensatelliten) herangezogen, fast stets kombiniert mit den Verfahren der Trägerfrequenztechnik.

Bei der D. arbeitet man im ↑ On-line-Betrieb oder im ↑ Off-line-Betrieb. Sie macht EDVA zahlreichen und räumlich weitverteilten Benutzern zugänglich, bes. bei Anwendung des ↑ Echtzeitbetriebs und des ↑ Zeitteilverfahrens, und ermöglicht z. T. direktes Abfragen der Anlagen durch Fernsprecher. D.seinrichtungen werden gegenwärtig im Verkehrs- und Transportwesen (z. B. Platzbuchung, Waggonumlauf, ökonomischer Einsatz von Fischfangflottillen, Flugsicherung), in Energieversorgungsbetrieben, im Bankwesen, für die Leitung umfangreicher Filialnetze im Handel, für den Austausch medizinischer Informationen zwischen Kliniken sowie von Programmen bzw. Daten zur Steuerung von Werkzeugmaschinen u. a. eingesetzt.

Datensichtgerät [engl. *Display Unit*, Anzeigeeinheit]: elektronisches Gerät zur optischen Darstellung von alphanumerischen Zeichen, Diagrammen, geometrischen bzw. technischen Strukturen usw. D. sind meist ↑ Peripheriegeräte von EDVA, werden aber z. B. auch zur Ausgabe zusätzlicher auf einem Radar-Bildschirm nicht unmittelbar angezeigter Informationen (z. B. Flug-Nummer und -höhe) eingesetzt.

Die Darstellung erfolgt auf dem Bildschirm einer ↑ Elektronenstrahlröhre (vgl. auch Lumineszenzanzeigeeinrichtung) nach einem von 3 Grundverfahren: Die *Profilstrahltechnik* benutzt zur Bildwiedergabe ein ↑ Charaktron. Es können bei begrenztem Zeichenvorrat nur alphanumerische Zeichen dargestellt werden. Bei *Punktschreibtechnik* werden die Darstellungen als Punktfolge erhalten, indem z. B. aus einem dichten, zeilenweise geschriebenen Punktraster die zur Darstellung benötigten Punkte hellgetastet, d. h. durch entspr. Steuerung des Elektronenstrahls zum Aufleuchten gebracht werden. Bei *Linienschreibtechnik* setzt sich die Darstellung aus einzelnen Linienelementen zusammen. Punkt- und Linienschreibtechnik sind nicht auf alphanumerische Zeichen begrenzt.

Für bleibenden, flimmerfreien Bildeindruck wird die Darstellung in schneller Folge wiederholt geschrieben.
Die Steuereinheit des D. enthält alle zur Erzeugung und Anordnung der Zeichen auf dem Bildschirm nötigen Baugruppen, z. B. ↑ Speicher für alle Zeichen- bzw. Linienelemente sowie Funktionsgeneratoren zur Gewinnung der Ablenkströme bzw. Steuerspannungen für die Elektronenstrahlröhre. Auch die Verbindung mit der Zentraleinheit der EDVA erfolgt über die Steuereinheit.
Die Eingabe geschieht meist über eine Tastatur, die neben Zeichen- auch Funktionstasten enthält, z. B. Festlegen des Zeilenanfangs, Verschieben, Erweitern, Löschen der Darstellung, Schreiben einer Geraden zwischen Anfangs- und Endpunkt, Schreiben eines Kreises mit gegebenem Radius und Mittelpunkt usw.
In sog. dialogfähigen D.en können die Darstellungen auf dem Bildschirm nahezu beliebig verändert, ergänzt und korrigiert und diese Änderungen unmittelbar durch eine mit dem D. verbundene EDVA ausgewertet werden. Bes. vielseitige Möglichkeiten bietet die Eingabe mit dem *Lichtstift*. An seinem Aufsetzpunkt auf dem Bildschirm erscheint eine Lichtmarke, die über einen fotoelektrischen Wandler am Lichtstift und entspr. Steuereinrichtungen der Bewegung des Lichtstifts folgt. An seinem jeweiligen Aufsetzpunkt können mittels der Tastatur Zeichen eingeschrieben bzw. vorhandene Zeichen gelöscht werden. Es ist überdies möglich, die vom Lichtstift durchlaufene Spur ganz oder teilweise hellzutasten und auf diese Weise zu „zeichnen".
D. finden vor allem in Auskunftssystemen Anwendung, z. B. Platzbuchungen, Sichtbarmachen rasch veränderbarer technischer oder ökonomischer Daten, Informationsübermittlung von Datenbanken.
Dialogfähige D. vereinfachen bes. die Kommunikation Mensch–EDVA bei der Bearbeitung und Lösung operativer Probleme, aber auch bei Konstruktionsproblemen, Schaltungsentwürfen usw.

Datenverarbeitungsanlage, elektronische, Abk. **EDVA:** programmgesteuerte elektronisch arbeitende Anlage (↑ Digitalrechenautomat), die bes. den Erfordernissen der Datenverarbeitung angepaßt ist. Im Unterschied zu Digitalrechenautomaten für wissenschaftliche und technische Aufgaben, die mit relativ wenigen Eingangsdaten komplizierte Rechnungen schnell durchzuführen haben, muß eine EDVA große Datenmengen, die in Form von Zahlen, Buchstaben und Zeichen eingegebenen und in leistungsfähigen ↑ Speichern verfügbar sind, nach verschiedensten Gesichtspunkten miteinander verknüpfen, z. B. sortieren, mischen oder auswählen, während die auszuführenden Rechenoperationen relativ einfach sind.

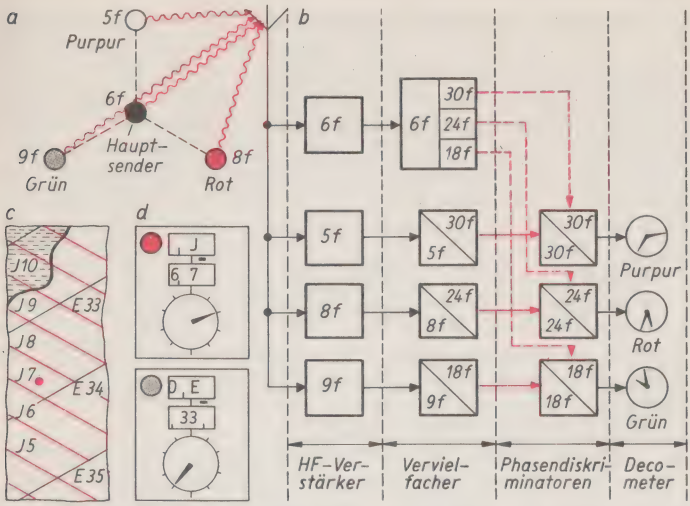
DCTL ↑ Logiksystem.

Decca-Verfahren: im LW-Bereich (70 bis 130 kHz) arbeitendes Funkortungssystem der See- und Luftfahrt für Entfernungen bis etwa 500 km, ein von Mitarbeitern der „Decca Navigator Co. Ltd. London" entwickeltes Hyperbel-Navigationsverfahren. Strahlen 2 örtlich getrennte Sen-

der kontinuierlich unmodulierte Wellen gleicher Frequenz „phasenstarr" aus, z. B. so, daß an beiden Sendeantennen die HF-Schwingungen ihr Maximum oder ihr Minimum (und demzufolge auch alle Zwischenwerte) im gleichen Augenblick durchlaufen, dann ergeben sich für Empfangsorte im Bereich beider Sender Phasenunterschiede, deren Ursache verschiedene Laufzeiten bzw. Wege vom Sender zum Empfänger sind. Punkte gleicher Phasenunterschiede (0°, 90° usw.) liegen auf Hyperbeln mit den Sendern als Brennpunkten. Die Hyperbeln liefern Standlinien, wenn ihre Lage bekannt ist und mit dem am Empfangsort gemessenen Phasenunterschied verglichen wird. Um die zur Standortbestimmung nötigen 2 Standlinien und günstige Schnittpunkte für diese zu erhalten, arbeiten 4 sternartig angeordnete Sender als *Decca-Kette* zusammen. Der Haupt- oder Leitsender [engl. *Master*, Herr] bildet die Sternmitte; 3 Nebensender [engl. *slave stations*, Diener] stehen im Abstand bis etwa 200 km von diesem mit möglichst gleicher Azimutdifferenz. Haupt- und Nebensender zusammen ersetzen also 3 Senderpaare. Die Nebensender werden durch die Signale des Hauptsenders gesteuert.

Ein Empfänger könnte Phasenunterschiede der vom Haupt- und einem Nebensender stammenden Wellen gleicher Frequenz nicht feststellen. Daher strahlen die 4 Sender der Decca-Kette verschiedene Frequenzen aus, die jedoch ganzzahlige Vielfache einer Grundfrequenz f sind (Abb. a). Diese Frequenzen werden einzeln vom Empfänger aufgenommen und so vervielfacht, daß sich „nachträglich" für den Hauptsender und je einen Nebensender gleiche Frequenzen ergeben, z. B. aus Verdoppelung der Sendefrequenz 9 f und Verdreifachung der Hauptsenderfrequenz 6 f die Frequenz 18 f. Die Phasenunterschiede dieser Frequenzen werden gemessen und mit Hyperbeln verglichen, die für die gemeinsame Frequenz berechnet und in den Farben Rot, Grün und Purpur in Karten eingedruckt wurden. Je nach Farbe der durch den Haupt- und einen Nebensender erzeugten Hyperbelschar werden auch die Nebensender durch die Bez. „Rot", „Grün" und „Purpur" unterschieden.

Weil der Abstand Hauptsender–Nebensender groß gegenüber der Wellenlänge der im Empfänger gemessenen gemeinsamen Frequenz ist, wiederholen sich gleiche Phasenunterschiede. Es entstehen Streifen, die von Hyperbeln des Phasenunterschieds 0° (sog. Nullhyperbeln) begrenzt werden und in denen alle Phasendifferenzen zwischen 0° und 360° auftreten. Die Anzahl der Streifen hängt vom Abstand Hauptsender–Nebensender ab und wächst mit sinkender Wellenlänge (bzw. wachsender Frequenz). Durch Messen des Phasenunterschieds ist zunächst nur eine Standlinie innerhalb eines Streifens feststellbar, nicht aber der Streifen, in dem sie liegt. Die Messung ist vieldeutig, liefert jedoch, da die Streifenbreite gering ist (auf der Verbindungslinie Hauptsender–Nebensender z. B. wenige 100 m), sehr genaue Werte; man nennt sie daher *Feinortung*. Zur Beseitigung der Vieldeutigkeit ist eine zusätzliche *Grobortung* nötig. Dazu benutzt man die niedrige Grundfrequenz f. Die Zonen zwischen Nullhyperbeln verbreitern sich dabei im Verhältnis der jeweils im Emp-



Senderanordnung und -frequenzen einer Decca-Kette (a), Blockschema des Empfängers (Feinortung, *b*), Ausschnitt einer Decca-Kette (c) und Anzeige des darin angegebenen Standorts („Rot J 7,1; Grün E 33,6"; *d*)

fänger zur Messung benutzten Frequenz zur Grundfrequenz *f*. Da die Meßfrequenzen 18 *f* bzw. 24 *f* bzw. 30 *f* betragen, enthält jede Zone 18 bzw. 24 bzw. 30 Streifen. Die Zonen sind durch Buchstaben, die Streifen bzw. Nullhyperbeln innerhalb jeder Zone durch Zahlen gekennzeichnet. Dadurch ist jede Hyperbel eindeutig charakterisiert (z. B. „Rot E 9"). Damit im Empfänger die Grundfrequenz *f* zur Grobortung erhalten werden kann, werden die Nebensender innerhalb jeder Minute für dreimal 0,5 s durch Signale vom Hauptsender umgesteuert. Während dieser Zeitspanne arbeitet der Hauptsender jeweils nur mit einem Nebensender zusammen, wobei zusätzlich „Grobortungsfrequenzen" ausgestrahlt werden, die sich um *f* von den für die Feinortung verwendeten Frequenzen unterscheiden. Die beiden anderen Nebensender werden abgeschaltet. Beim nächsten Grobortungsintervall arbeitet ein anderer Nebensender mit dem Hauptsender zusammen usw. Im Empfänger werden die Frequenzen des Hauptsenders und der Nebensender über eine gemeinsame Antenne aufgenommen und in 4 HF-Verstärkern geringer Bandbreite verstärkt. Zur Feinortung werden anschließend in einem Vervielfacher für die Hauptsenderfrequenz 3 Frequenzen, und in Vervielfachern für die Nebensenderfrequenzen wird jeweils 1 Frequenz gewonnen (Abb.).

In 3 *Phasendiskriminatoren* (vgl. Diskriminator) wird jeweils der Phasenunterschied zwischen der vervielfachten Frequenz eines Neben-

senders und der auf den gleichen Wert vervielfachten Frequenz des Hauptsenders festgestellt. Daraus werden Steuerspannungen für die Anzeigeinstrumente abgeleitet. Diese 3 *Decometer* sind in einer Baueinheit zusammengefaßt, die z. B. im Kartenraum eines Schiffs aufgestellt wird. Jeder Hyperbelschar ist eine Kreisskale, durch die Farbe Rot, Grün oder Purpur gekennzeichnet, zugeordnet. Ein Zeiger läuft über einen äußeren Skalenring und zeigt die Nummer des jeweiligen Streifens bzw. der Nullhyperbel für die Feinortung an; ein 2. Zeiger, der einen inneren Skalenring bestreicht, dient zum Ablesen von Hundertsteln der Streifenbreite. In einem Fenster erscheint außerdem der zugehörige Zonenbuchstabe (bei den neuesten Geräten auch die Streifen- bzw. Nullhyperbel-Nummer, so daß die äußere Kreisskale und ein Zeiger entfallen [Digitalanzeige, Abb. *d*]). Ein 4. Instrument zeigt die aus der Grobortung erhaltenen Werte (in den o. g. Geräten ebenfalls digital) an. Zur Grobortung werden im Empfänger die während der Grobortungsintervalle ausgestrahlten Frequenzen so gemischt (vgl. Mischung), daß die Grundfrequenz *f* entsteht. Zur Auswertung sind die Instrumente abzulesen und die zugehörigen Hyperbeln in den Karten aufzusuchen; der Schnittpunkt zweier Hyperbeln ist der Standort. Während bei Decca-Geräten auf Schiffen aufgrund deren relativ geringer Geschwindigkeit Instrumentablesung und anschließende Auswertung genügen, ist in Flugzeugen eine schnellere, nach Möglichkeit automatische Auswertung wünschenswert oder erforderlich. Sie erfolgt, indem die von den Phasendiskriminatoren gelieferten Werte einen *Kursschreiber* (*Flugwegschreiber*) steuern. Ein Schreibstift zeichnet fortlaufend den jeweiligen Standort in Spezialkarten ein, die aus einem Speicher abgerufen und unter dem Schreibstift hinwegbewegt werden. Auf Schiffen wird ein Kursschreiber verwendet, wenn, etwa bei Vermessungsarbeiten oder im Fährbetrieb, ständig der Kurs sehr genau eingehalten werden muß.

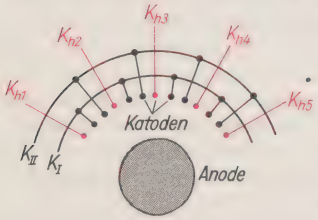
Die Genauigkeit des D. hängt von der Entfernung Sender-Empfänger und den Ausbreitungsbedingungen ab. Während nahe der Verbindungslinie Hauptsender-Nebensender eine Genauigkeit von wenigen Metern erreicht werden kann, beträgt die Genauigkeit an den Reichweitengrenzen zwischen etwa 1,5 km (tagsüber) und 7,5 km (nachts). Es gibt z. Z. (1975) auf der Welt über 40 Decca-Ketten.

Für sehr genaue Funkortung, z. B. für Vermessungen in Küstennähe und Fahrrinnenbaggerungen sowie für die Revierfahrt, wurden *Hi-Fix-Anlagen* [Abk. für engl. *Hi*gh Accuracy Position *Fix*ing, Standortbestimmung hoher Genauigkeit] entwickelt. Sie arbeiten im Grenzwellenbereich, mit Senderabständen von nur etwa 50 km und demzufolge sehr schmalen Streifen zwischen den Nullhyperbeln. Haupt- und Nebensender senden nach einem festgelegten Zeitplan jeweils 1 s lang abwechselnd auf einer Frequenz. Die Reichweite ist geringer als beim D., doch liegt die Abweichung bei $< \pm 5$ m. Gegenwärtig arbeiten über 100 Hi-Fix-Anlagen. *Dectra* [Abk. für engl. *Decca Truck and Range*, Decca-Kurs-und-Entfernungs-Meßsystem] ist eine Abwandlung des D. zur Standortbestim-

mung auf langen Flugstrecken (z. B. Nordatlantik). 2 Senderpaare aus je einem Haupt- und Nebensender arbeiten nahe den Enden der Flugstrecke. Sie erzeugen *Kurshyperbeln*, die etwa in die Flugrichtung weisen. Durch Zusammenwirken beider Hauptsender werden außerdem quer zur Flugstrecke verlaufende *Entfernungshyperbeln* erzeugt. Auch hier werden die Anzeigen entweder abgelesen oder mit Hilfe eines Flugwegschreibers ausgewertet. Vgl. Omega-Verfahren.

Defektelektronen und **-leitung** ↑ Halbleiter.

Dekadenzählröhre, *Zählröhre*: Gasentladungs- oder Elektronenröhre für Zähl- und Speicherschaltungen zum dezimalen Zählen elektrischer Impulse (bis etwa 10^5 Impulse/s). Die *Vielkatodenröhre*, auch *Dekatron* genannt, ist eine im Bereich der Glimmentladung arbeitende Gasentladungsröhre mit Edelgasfüllung und ungeheizten Katoden. Um die zentrale tellerförmige Anode sind im Kreis 30 stabförmige Katoden angeordnet: 10 Hauptkatoden (K_h) mit einzelnen Außenanschlüssen und 2 Gruppen von je 10 Hilfskatoden (K_I und K_{II}), die jeweils miteinander und mit einem gemeinsamen äußeren Anschluß verbunden sind. Die Spannung zwischen Anode und Hauptkatoden ist an sich so hoch, daß sie zum Zünden der Entladungsstrecken Hauptkatode-Anode ausreicht. Trotzdem wird nur eine Strecke gezündet, weil die Brennspannung der gezündeten Glimmentladung niedriger ist als die Zündspannung, aber gleichzeitig an allen Strecken Hauptkatode-Anode auftritt. Über eine Strecke Hilfskatode-Anode ist gleichfalls keine Entladung möglich, weil die Hilfskatoden eine solche positive Vorspannung erhalten, daß ihre Spannung gegenüber der Anode unter der Zündspannung bleibt. Erst wenn an die Hilfskatoden der Gruppe 1 ein negativer Impuls gelegt wird, der die positive Vorspannung kurzzeitig aufhebt und die Spannung Hilfskatode-Anode bis zur Zündspannung vergrößert, kann eine der Entladungsstrecken Hilfskatode-Anode zünden. Das geschieht an der der gezündeten Entladungsstrecke Hauptkatode-Anode unmittelbar benachbarten Hilfskatoden-Anoden-Strecke, da von der Glimmentladung Ladungsträger in ihr Gebiet vordringen und so ihr Zünden gegenüber den anderen Entladungsstrecken erleichtern (sog. *Ionisationskopplung*); die Glimmentladung wird zur Entladungsstrecke Hilfskatode-Anode „herübergezogen". Ein Zurückspringen der Entladung zur 1. Hauptentladungsstrecke beim Enden des Impulses verhindert man dadurch, daß



Dekadenzählröhre: Elektrodenanordnung einer Vielkatodenröhre, *rot* Haupt-, *schwarz* Hilfskatoden

jeder zu zählende Impuls vor der Vielkatodenröhre durch eine Kondensator-Widerstand-Schaltung in 2 zeitlich geringfügig versetzte Impulse geteilt wird, die den Hilfskatoden-Gruppen I bzw. II zugeführt werden. Der 2. Teilimpuls zündet, kurz bevor die Entladung auf der Strecke der Hilfskatoden-Gruppe I erlischt, die benachbarte Hilfskatode der Gruppe II, und die Entladung geht auf diese Hilfskatode über. Nach Abklingen des 2. Teilimpulses zündet (wiederum durch Ionisationskopplung begünstigt) die nächste Hauptentladungsstrecke. Beim Eintreffen des nächsten Zählimpulses wiederholt sich dieser Vorgang. An einem der mit den Ziffern 0 bis 9 markierten ringförmigen Fenster wird die Glimmentladung, in Achsrichtung betrachtet, sichtbar. Beim Zünden der 10. Hauptentladungsstrecke wird ein Impuls gewonnen, der die nächste, nachgeschaltete Vielkatodenröhre um einen Schritt weiterschaltet usw. Kehrt man die Reihenfolge der Teilimpulse um, werden zuerst die Hilfsentladungsstrecken der Gruppe II, dann die der Gruppe I gezündet, und die Röhre zählt rückwärts. Die von einer Vielkatodenröhre gezählten Impulse können zusätzlich an einer ↑ Ziffernanzeigeröhre sichtbar gemacht werden.

In *Hochvakuum-D.* passieren die von einer Glühkatode ausgehenden und zu einem bandförmigen Strahl geformten Elektronen 2 Ablenkelektroden und eine Schlitzelektrode, bevor sie die Anode erreichen. Sie werden, durch einen eintreffenden Impuls in eine von 10 stabilen Stellungen gebracht, durch den nachfolgenden Impuls um eine Stellung weitergeschaltet. Der Elektronenstrahl erzeugt auf einem im Inneren der Glaswand aufgebrachten Leuchtschirm einen hellen Strich. Die der jeweiligen Strahlstellung entspr. Ziffer wird an einer äußeren auf dem Glaskolben befindlichen Maske abgelesen.

Das *Trochotron*, ebenfalls eine Hochvakuum-D., kann bis zu 10^6 Impulse/s zählen und auch für Schaltzwecke benutzt werden. Die von einer Katode emittierten Elektronen durchlaufen unter dem Einfluß eines elektrischen und eines konstanten magnetischen Felds ähnliche Bahnen wie im ↑ Magnetron. Impulse an einer Steuerelektrode lassen den Elektronenstrahl von einer zur nächsten der 10 (oder mehr) Anoden springen. Ein Leuchtstoffbelag zeigt die jeweilige Strahlstellung an.

D., insbes. Hochvakuum-D., werden durch Zähldekaden, die mit Halbleiterbauelementen und integrierten Schaltungen bestückt sind, abgelöst.

Dekatron ↑ Dekadenzählröhre.

Demodulation: Rückgewinnen eines mittels modulierter HF-Schwingungen drahtlos oder in einem Leiter übertragenen Signals in der Empfangseinrichtung am Ende einer Übertragungsstrecke. Die D. ist die Umkehrung der ↑ Modulation und geschieht wie diese mit Hilfe von Bauelementen nichtlinearer Kennlinie, meist als Gleichrichtung. Die entspr. Schaltungen heißen *Demodulatoren*; ihre Wirkungsweise wird durch die Art der für die Signalübertragung gewählten Modulation bestimmt.

1. *D. amplitudenmodulierter Signale*: 1.1. Am häufigsten, u. a. in allen Funkempfängern, wird *Dioden-D.* angewendet. Ihre Wirkungsweise entspricht der des Einweggleichrichters (↑ Gleichrichter). Die modulierte

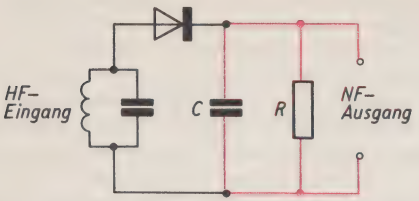
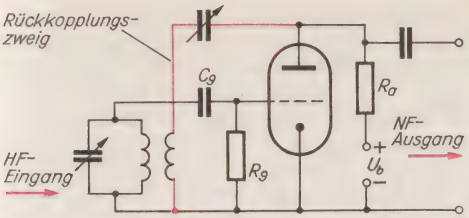


Abb. *1*: Diodendemodulation

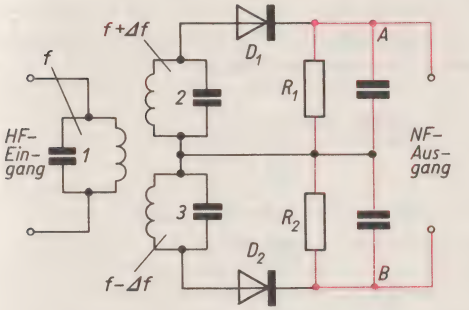
HF-Spannung, deren Hüllkurve das übertragene Signal (vgl. Abb. *1* bei Modulation) widerspiegelt, wird an einem Schwingungskreis abgenommen, der häufig Teil eines Bandfilters ist, und gleichgerichtet (Abb. *1*). Der Kondensator *C* wird auf eine Spannung geladen, die wegen der ständigen Entladung über den Widerstand *R* etwas niedriger als die Spitzenwerte der HF-Spannung ist. Sie steigt und sinkt mit den sich ändernden Amplituden der HF-Spannung und folgt damit der Hüllkurve. Die Spannungsänderungen an *C* und damit an *R* sind infolgedessen ein Abbild des übertragenen Signals. Sie steuern den nachgeschalteten NF-Verstärker. Die Kapazität von *C* wird so gewählt, daß der Kondensator keinen nennenswerten Widerstand für die HF-Spannung darstellt (dadurch HF-Spannung unvermindert an der Diode nutzbar); *R* soll groß gegenüber dem Innenwiderstand der Diode sein, da sich dadurch einerseits eine höhere Spannung an *R* ergibt (geringer Entladestrom von *C*), andererseits die durch die Diode verursachten nichtlinearen Verzerrungen niedrig bleiben. Die ↑ Zeitkonstante *R-C* muß so bemessen werden, daß die Spannung an *R* den höchsten auftretenden Signalfrequenzen folgen kann. In Funkempfängern wird außerdem die Regelspannung für die automatische ↑ Schwundregelung durch Dioden-D. gewonnen. Ein wichtiger Vorzug der Dioden-D. sind ihre geringen Verzerrungen. Älteste Form ist die in den Anfangsjahren der drahtlosen Nachrichtentechnik verbreitete D. mit einem Kristalldetektor.

1.2. Bei *Gitter-D.* wird die durch D. erhaltene Spannung zusätzlich verstärkt. Die HF-Spannung liegt über den Gitterkondensator C_g zwischen Steuergitter und Katode einer Triode (Pentode) und wird wie in einer Diode gleichgerichtet. Am Gitterableitwiderstand R_g entsteht eine der Hüllkurve der HF-Spannung folgende Spannung, die den Anodenstrom steuert. Am Widerstand R_a kann die verstärkte, dem übertragenen Signal entspr. Spannung abgenommen werden. Gitter-D. erlangte in den Anfangszeiten der drahtlosen Nachrichtentechnik als *Audion* weiteste Verbreitung, bes. durch Hinzufügen eines einstellbaren Rückkopplungszweiges (*Rückkopplungsaudion*), mit dem sich Trennschärfe und Empfindlichkeit erheblich steigern ließen. Heute wird Gitter-D. nur noch selten, vor allem von Funkamateuren, angewandt (Abb. *2*).

2. *D. frequenz- bzw. phasenmodulierter Signale* geschieht in mehreren Schritten. Zunächst werden etwaige Amplitudenschwankungen des Signals durch ↑ Begrenzer beseitigt. Daraufhin wird das frequenzmodu-



Demodulation, Abb. 2: Audion mit Rückkopplungszweig

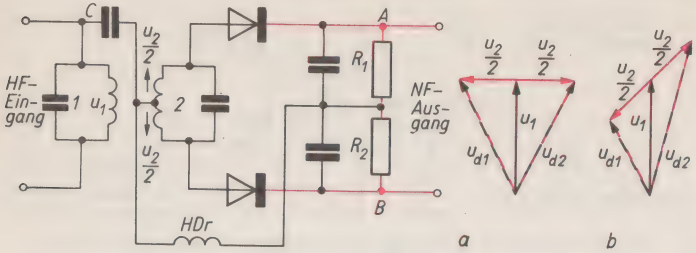


Demodulation, Abb. 3: Gegentakt-Flanken- oder Differenz-Diskriminator

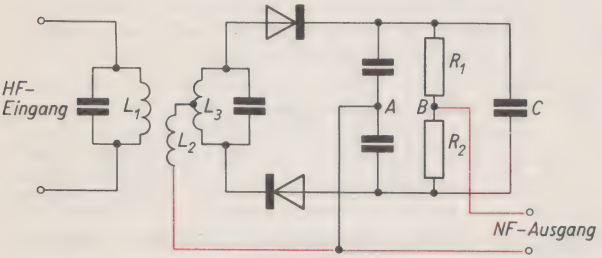
lierte Signal in ein amplitudenmoduliertes umgewandelt und anschließend wie unter 1.1. demoduliert.

2.1. Im *Gegentakt-Flanken-* oder *Differenzdiskriminator* (Abb. *3*) wird Schwingungskreis *1* auf die Trägerfrequenz f (bzw. auf die aus dieser im Empfänger gewonnene ZF) abgestimmt, während die Schwingungskreise *2* und *3* auf eine symmetrisch dazu liegende höhere bzw. tiefere Frequenz ($f + \Delta f$ und $f - \Delta f$) abgeglichen werden. Je nach der modulationsbedingten Frequenzabweichung von f entsteht im Schwingungskreis *1* eine höhere, im Schwingungskreis *2* eine niedrigere Spannung oder umgekehrt. Demzufolge fließen über die Dioden D_1 und D_2 verschieden starke Ströme, die an den Widerständen R_1 und R_2 entspr. Spannungen hervorrufen. Da diese Spannungen gegeneinander gerichtet sind, tritt ihre Differenz zwischen den Punkten *A* und *B* als NF-Spannung auf, die dann noch verstärkt werden muß.

2.2. Der *Phasendiskriminator* (Demodulator mit *Riegger*-Kreis, Abb. *4*) enthält 2 auf die Trägerfrequenz abgestimmte, induktiv miteinander gekoppelte Schwingungskreise *1* und *2*. Kreis *1* ist außerdem über den Kondensator *C* mit der Spulenmitte von Kreis *2* verbunden; die HF-Drossel *HDr* schließt die Diodenstromkreise für die demodulierten (NF-)Ströme. An jeder Spulenhälfte entsteht eine Teilspannung $u_2/2$. Die Teilspannungen sind gleich groß, aber einander entgegengerichtet; sie liegen in Reihe mit der Spannung u_1. Durch die bei Modulation bedingten Frequenzabweichungen ergeben sich Phasenverschiebungen zwischen u_1 und u_2; dadurch entsteht eine Differenz der Spannung u_{d1} und u_{d2}, die



Demodulation, Abb. *4*: Phasendiskriminator und seine Spannungsbeziehungen, *a* bei fehlender Modulation, *b* bei modulierter Frequenz



Demodulation, Abb. *5*: Ratiodetektor

infolge der nunmehr unterschiedlichen Diodenströme auch an den Widerständen auftritt und als NF-Spannung zwischen *A* und *B* abgenommen und verstärkt wird.

2.3. Der *Ratiodetektor* oder *Verhältnisdiskriminator* (Abb. *5*) wird bes. häufig in Geräten der Unterhaltungselektronik angewendet, da er neben der demodulierenden eine unerwünschte Amplitudenschwankungen begrenzende Wirkung hat. Die Umwandlung der frequenzmodulierten HF in eine amplitudenmodulierte und die anschließende D. erfolgen wie beim Phasendiskriminator, jedoch sind die Dioden gegeneinander geschaltet; an den Widerständen R_1 und R_2 tritt keine Differenz-, sondern eine Summenspannung auf, außerdem werden die Teilspannungen in der Spule L_3 hier induktiv über die mit L_1 gekoppelte Spule L_2 hervorgerufen. Der Innenwiderstand der Diodenstrecken ist infolge ihrer gekrümmten Kennlinien spannungsabhängig. Dies wirkt sich bes. bei niedriger Spannung und kleinem Außenwiderstand der Diode aus. In Abb. *5* wird dieser Außenwiderstand durch den Kondensator *C* dargestellt, dessen Kapazität so groß ist, daß er für die HF- und NF-Ströme nur einen geringen Widerstand hat und die an ihm auftretende Spannung auch bei langsamen Amplitudenänderungen nahezu konstant bleibt. Steigt die Amplitude der HF-Schwingungen (Amplitudenänderung), so sinkt der Innenwiderstand

der Diode. Infolgedessen wird der vorausgehende Schwingungskreis zusätzlich gedämpft, die HF-Spannung fällt, der Diodeninnenwiderstand nimmt wieder zu. Die Abnahme der demodulierten Signalspannung erfolgt zwischen den Punkten *A* und *B*.

3. *D. pulsmodulierter Signale* erfordert gleiche Schritte wie die Pulsmodulation (↑ Modulation 4.), jedoch in umgekehrter Reihenfolge. Außerdem müssen, da bei Pulsmodulation mehrere Nachrichten zeitlich ineinandergeschaltet werden, einander entspr. Schritte beim Sender und Empfänger synchron vollzogen werden. Die eigentliche D. geschieht prinzipiell nach den unter 1. und 2. dargestellten Verfahren, wobei das pulsmodulierte Signal von der D. in ein PAM-Signal verwandelt wird. Nach der D. wird das analoge Ausgangssignal (meist eine NF-Spannung) zurückgewonnen, bei Pulscodemodulation z. B. durch Laden und Entladen von Kondensatorgliedern. Diese setzen die Codezeichen in eine treppenförmige Spannung um, aus der durch Filter das urspr. Signal entsteht.

Depletion Mode ↑ Transistor 2.

Detektor [lat. detegere, enthüllen, sichtbar werden lassen]: Bauelement oder Einrichtung zum Nachweis und häufig zur Messung von Eigenschaften elektromagnetischer Wellen oder korpuskularer Strahlung.

1. *D. für elektromagnetische Wellen*: In den Anfangsjahren der Funktechnik unentbehrlich, heute bedeutungslos, ist der von Längst- bis zu cm-Wellen verwendbare *Kristall-D.*, ein Halbleiterbauelement mit der Funktionsweise einer Spitzendiode, bestehend aus einem Kristallstückchen (z. B. Silizium, Schwefelkies) und einer diesem aufsitzenden Metallspitze.

D.en für sichtbare, IR- und UV-Strahlung (*IR-* bzw. *UV-D.*) beruhen meist auf dem ↑ lichtelektrischen Effekt. Zu ihnen zählen ↑ Fotozellen und ↑ Sekundärelektronenvervielfacher, Fotodioden (↑ Diode 2.), ↑ Fotoelemente, ↑ Fotowiderstände. Der Bereich der größten spektralen Empfindlichkeit ist, z. B. durch Wahl geeigneten Materials für Fotokatoden und Halbleiterbauelemente, festlegbar.

Bes. zum Nachweis von IR-Strahlung dienen auch ↑ Thermistoren, ↑ Thermoelemente und ↑ Bolometer.

2. *D. für korpuskulare Strahlung*: Unter den zahlreichen Varianten dieser D.en haben 3 bes. Bedeutung erlangt: Das *Zählrohr* zum Nachweis auch von γ-Quanten ist eine ↑ Gasentladungsröhre. Eindringende Teilchen bzw. Quanten setzen elektrische Ladungsträger frei, deren Zahl durch Stoßionisation lawinenartig anwächst. Zwischen den beiden an einer Spannung von z. B. 2 bis 5 kV liegenden Elektroden des Zählrohrs kommt es zu einer Stoßentladung, die einen Spannungsimpuls im äußeren Stromkreis hervorruft. Der *Halbleiter-D.* ist heute meist dem Prinzip nach eine in Sperrichtung betriebene Diode, an deren *pn*-Übergang einfallende Strahlung Ladungsträgerpaare und damit Stromimpulse im Diodenstromkreis hervorrufen (vgl. Diode 2.). *Szintillations-D.en* nutzen die Eigenschaft bestimmter Materialien (z. B. Zinksulfid, Natriumjodidkristalle

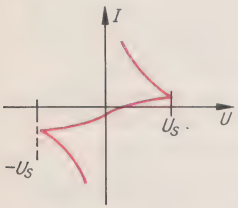
mit Thalliumzusatz, Naphtalin), auf Teilchen- oder Quanteneinfall mit winzigen Lichtblitzen zu reagieren. Diese werden in einem Sekundärelektronenvervielfacher in elektrische Signale umgewandelt.

Detektorempfänger ↑ Geradeausempfänger.

Dezibel, Kurzz. dB: 10. Teil des wenig gebräuchlichen Maßes *Bel*, nach dem britischen Techniker und Physiologen *Alexander Bell* (1847–1922) benanntes Maß für das Verhältnis zweier gleichartiger Größen, in der Elektronik meist von Leistungen. D. ist das Zehnfache des dekadischen Logarithmus eines Leistungsverhältnisses P_1/P_2: n (in dB) = 10 lg P_1/P_2. Das D. wird häufig zur Angabe der Verstärkung bzw. Dämpfung in Übertragungseinrichtungen, z. B. in Verstärkern, benutzt.

Dezimeterwellen ↑ Frequenzbereiche.

DIAC [Abk. für engl. *Di*ode alternating-current switch, Diodenwechselstromschalter, *Zweiweg-Schaltdiode*]: Halbleiterbauelement zur Steuerung von Wechselströmen, insbes. zur Gewinnung von Zündimpulsen für ↑ Thyristoren und ↑ TRIAC's.



Strom-Spannungs-Kennlinie eines DIAC

Die Wirkungsweise des meist aus 5 Leitfähigkeitsgebieten der Reihenfolge *npnpn* bzw. *pnpnp* zusammengesetzten D. entspricht der ↑ Antiparallelschaltung von 2 Vierschichtdioden (↑ Diode 2.). Unterhalb der Schaltspannung U_S sperrt der D. Ströme beider Richtungen. Spannungen oder Spannungsimpulse, die die Schaltspannung (Durchbruchsspannung) überschreiten, „zünden" den D. für beide Richtungen und es fließt ein Strom. Der D. arbeitet als Schwellwertschalter. Wird während der Wechselstromhalbwellen der Haltestrom unterschritten, geht der D. erneut in den Sperrzustand über.

Dichtesteuerung ↑ Elektronenröhre.

Dickschichttechnik, *Dickfilmtechnik*: aus der Technik der gedruckten Schaltungen hervorgegangenes Verfahren der Mikroelektronik, dadurch gekennzeichnet, daß die passiven Bauelemente einer elektronischen Schaltung bzw. eines Bausteins mit den zugehörigen Verbindungsleitungen als Schichten (Filme) unlösbar auf gemeinsamem Trägermaterial (Substrat) von etwa 1 mm Dicke erzeugt werden, und zwar im Unterschied zur ↑ Dünnschichttechnik relativ dick (einige 10 μm). Die Substratfläche beträgt je nach Schaltung und Anzahl der Bauelemente zwischen wenigen Quadratzentimetern und einigen 10 cm^2. Das Substrat muß insbes. hohe Wärmeleitfähigkeit, gutes Isoliervermögen, geringe Ober-

flächenrauhigkeit und hinreichende mechanische Festigkeit haben. Vor allem hat sich gesinterte Aluminiumoxid-Keramik bewährt.

Bauelemente und Verbindungsleitungen werden im Siebdruckverfahren aufgebracht. Je nach Art und elektrischen Parametern der Bauelemente bzw. Verbindungsleitungen werden unterschiedlich leitende Druckpasten verwendet, die in mehreren Druckvorgängen aufgebracht werden. Jedem Druckvorgang folgt das Trocknen und Einbrennen (Sintern) der aufgedruckten Paste (bei Temperaturen um 10^3 °C).

Widerstände werden als mäanderförmige Streifen oder als Rechtecke mit einer Paste gedruckt, die z. B. aus Oxiden von Palladium, Zinn, einem Edelmetallanteil und einem Bindemittel besteht; Widerstandswerte zwischen wenigen Ohm und ≈ 1 MΩ sind realisierbar. Kondensatoren werden mehrschichtig durch mehrere Druckvorgänge erzeugt. Der „untere" Belag wird gemeinsam mit den zugehörigen Leiterzügen gedruckt und durch ein Dielektrikum (z. B. Bariumtitanat oder Titanoxid) abgedeckt, dem dann der „obere" Belag mit leitendem Material aufgedruckt wird. Kapazitäten bis 10^4 pF sind möglich. Spulen können, soweit sie nicht durch entspr. Schaltungskonzeption vermeidbar sind, nur in Form von Spiralen aus leitendem Material aufgedruckt werden; es ist lediglich eine Induktivität von wenigen Mikrohenry erreichbar. Leiterbahnen werden mit einer Druckpaste gewonnen, die z. B. Gold, Platin oder Silber enthält; zur Verbesserung der elektrischen Eigenschaften werden sie häufig galvanisch verstärkt oder verzinnt. Die Verbindung Bauelement-Leiterbahnen geschieht durch Aufeinanderdrucken der entspr. Schichten. Bauelemente, die auf dem Substrat aufgrund ihrer Werte nicht erzeugt werden können, z. B. Kondensatoren großer Kapazität, sowie sämtliche Halbleiterbauelemente werden nachträglich mit der Schaltung verbunden (vgl. Hybridtechnik). Kreuzungen von Leiterbahnen sind nach dem Prinzip der Kondensatorherstellung möglich (Leiterbahn-Isolierschicht-Leiterbahn), oder man umgeht sie, indem das Trägerplättchen beidseitig bedruckt und an seinen Kanten eine leitende Verbindung hergestellt wird. Die Schaltung wird nach evtl. Zusetzen von äußeren Bauelementen luft- und feuchtigkeitsdicht eingekapselt (z. B. Vergießen mit Epoxidharz). Ihre äußeren Abmessungen sind meist standardisiert, die Geometrie der Anschlüsse entsprechen dem für Leiterplatten eingeführten Raster (↑ gedruckte Schaltung). Im Mittel lassen sich auf 1 cm^2 Substratfläche 5 Bauelemente unterbringen.

Vorteile der D. gegenüber gedruckten Schaltungen sind erhöhte Zuverlässigkeit und Stabilität der Bauelemente, auch unter außergewöhnlichen Betriebsbedingungen (Raumfahrt, militärische Anwendungen), Wegfall zahlreicher Lötstellen, Anpassungsmöglichkeit durch Zusatz äußerer Bauelemente sowie relativ geringe Fertigungskosten. Raum- und Masseeinsparung gegenüber gedruckten Schaltungen sind relativ gering. Sehr hohen Anforderungen hinsichtlich Genauigkeit und Toleranzen kann die D. nicht genügen. Sie wird bevorzugt angewendet, wenn relativ geringe Stückzahlen elektronischer Schaltungen, z. B. Verstärker, Oszillatoren,

Widerstandsnetzwerke, Filter oder logische Schaltungen mit – gegenüber anderen Verfahren zur Fertigung integrierter Schaltungen – geringem Aufwand hergestellt werden sollen.

Dielektrikum: nichtleitender, fester, flüssiger oder gasförmiger Stoff, verwendet zur Isolation, als Medium zwischen den Belägen von Kondensatoren, in HF-Kabeln und in der Antennentechnik (vgl. Antenne 2.4.). Oberhalb einer von der Art des D. abhängigen Durchschlagsfeldstärke, gemessen in kV/cm oder kV/mm, verliert das D. sein Isoliervermögen (wichtig für Auswahl und Bemessung von Isolierstoffen). Ein D. zwischen den Belägen eines Kondensators vergrößert die Kapazität gegenüber einem mit evakuierten bzw. luftgefüllten Zwischenräumen, und zwar um einem Faktor, den man als (relative) *Dielektrizitätskonstante* bez.; er beträgt z. B. für Papier 1,8 bis 2,6, für Glimmer 7, für Polystyrol 2,2 bis 2,9, bei manchen speziell für Kondensatoren entwickelten Dielektrika bis 10^4. Durch das Feld des Kondensators werden Ladungen innerhalb der Atome bzw. Moleküle des D. verschoben (*Polarisation* des D.). Die dadurch an seinen Oberflächen auftretenden Ladungen „binden" Ladungen der Beläge und ermöglichen so eine weitere Ladungsaufnahme durch den Kondensator.

Im elektrischen Wechselfeld (Kondensator an Wechselspannung) findet eine periodische Ladungsverschiebung statt. Das D. erwärmt sich, wobei die erforderliche Energie vom Wechselfeld aufgebracht werden muß. Diesen Energieaufwand bez. man als *dielektrische Verluste*. Die Phasenverschiebung zwischen Ladestrom und Wechselspannung beträgt nicht 90° wie beim verlustfrei gedachten Kondensator, sondern ist um den materialabhängigen Verlustwinkel δ kleiner. Der Tangens dieses Winkels heißt *Verlustfaktor* und kennzeichnet die dielektrischen Verluste.

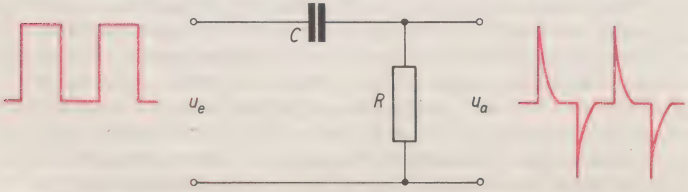
dielektrische Erwärmung ↑ Hochfrequenzerwärmung.

dielektrische Verluste ↑ Dielektrikum.

Dielektrizitätskonstante ↑ Dielektrikum.

Differenzfrequenz ↑ Videodemodulator.

Differenzierglied: Schaltungsglied aus einem Kondensator C und einem Widerstand R, dessen Ausgangsspannung u_a näherungsweise der Änderungsgeschwindigkeit der Eingangsspannung u_e proportional ist. Für die Spannung u_r am Widerstand R gilt $u_r = i \cdot R = C \cdot R \cdot du_c/dt$. Ist der Spannungsabfall an R klein gegenüber demjenigen am kapazitiven Widerstand von C, so ist $u_c \approx u_e$ und damit $u_a = u_r \approx C \cdot R \cdot du_e/dt$. u_a kommt



Differenzierglied

also dem Differentialquotienten der Eingangsspannung nahe. Diese Näherung ist um so besser, je kleiner R gegenüber dem kapazitiven Widerstand von C ist. Für rechteckförmige Eingangsimpulse ergeben sich Ausgangsimpulse der in der Abb. gezeigten Form. Sie sind positiv gerichtet für die Vorderflanken der Eingangsimpulse (Anstieg von u_e), negativ für die Rückenflanken (Abfall von u_e). D.er werden angewendet, um aus rechteckigen oder trapezförmigen Impulsen schmale, nadelförmige Impulse – z. B. zur Synchronisierung nachfolgender Baustufen – mit eindeutigen, steilen Impulsflanken zu erhalten. Vgl. Integrierglied.

Differenzträgerverfahren ↑ Fernsehempfänger.

Diffusionstechnik ↑ Halbleiterbauelement.

Digital-Analog-Umsetzer ↑ Analog-Digital-Umsetzer.

digitale Anzeige: Anzeige einer Meßgröße in Ziffern (z. B. Digitaluhr) im Gegensatz zur analogen Anzeige (z. B. Zeigeruhr). D. A. vermindert die Gefahr von Ablesefehlern und ermöglicht höhere Ablesegenauigkeit.

Digitalrechenautomat, *Digitalrechner*, *Ziffernrechenautomat*: elektronischer Rechenautomat, der digitale, d. h. durch diskrete Werte gekennzeichnete, und Daten (z. B. durch Ziffern, Buchstaben oder Sonderzeichen gekennzeichnete Informationen aus dem Bereich der Technik, Wissenschaft und Ökonomie) repräsentierende Signale in Gestalt elektrischer Impulse nach einem ihm eingegebenen Programm selbsttätig und mit hoher Geschwindigkeit verarbeitet.

Für D.en hat sich das ↑ Dualsystem als zweckmäßig erwiesen, bei dem nur zwischen 2 Signalzuständen unterschieden wird, aus deren Kombination nach einem vereinbarten Code alle Signale zusammensetzbar sind. Die meisten D.en arbeiten mit den Binärziffern „L" und „0", die durch die elektrischen Zustände „Spannung vorhanden" (H)/„Spannung nicht vorhanden" (L) oder durch 2 einander entgegengesetzte Magnetisierungsrichtungen magnetischer Bauelemente gekennzeichnet sind. Die zu verarbeitenden Daten müssen daher zunächst verschlüsselt und nach der Verarbeitung wieder entschlüsselt werden. Neben einer *Dualverschlüsselung*, bei der Zahlen als Ganzes in das Dualsystem umgesetzt werden (vgl. Beispiel bei Dualsystem), wird häufig die *Tetradenverschlüsselung* angewendet: Jede Ziffer einer Dezimalzahl wird durch eine 4stellige Binärzahl (Tetrade) wiedergegeben, die die Ziffer als Summe der Potenzen von 2 angibt (2^3, 2^2, 2^1, 2^0), z. B. 1 ≙ „000L", 5 ≙ „0L0L", 9 ≙ „L00L" bzw. 1 ≙ „LLLH", 5 ≙ „LHLH", 9 ≙ „HLLH". Mehrere Binärziffern (Bit), z. B. die einer Tetrade, ergeben dann ein Zeichen (Byte), mehrere Zeichen ein Wort, dessen Länge, abhängig vom Typ des D.en, konstant oder variabel sein kann. Für Buchstaben und Sonderzeichen, z. B. Rechenzeichen, werden zusätzliche Stellen festgelegt. Man spricht von *Serienbetrieb* und *-information*, wenn die Binärstellen eines Zeichens bzw. Worts zeitlich nacheinander über den gleichen Kanal, von *Parallelbetrieb* und *-information*, wenn sie räumlich nebeneinander, d. h. gleichzeitig über je einen Kanal, übertragen und verarbeitet werden. Letzterer ermöglicht größere Arbeitsgeschwindigkeit, bedingt aber höhe-

ren technischen Aufwand. Auch *Serien-Parallel-Betrieb* wird angewendet, indem z. B. die Binärstellen eines Zeichens parallel, die Zeichen selbst jedoch in Serie verarbeitet werden.

Jeder D. besteht aus der *Zentraleinheit* (Abk. ZE), die nach dem gespeicherten Programm alle Operationen, logische Verknüpfungen u. a. ausführt, und ↑ Peripheriegeräten zur Verbindung zwischen D. und Außenwelt (z. B. Ein- und Ausgabe von Daten). Die ZE enthält den Arbeitsspeicher, auch Hauptspeicher oder, da im D.en selbst untergebracht, interner Speicher genannt, das Steuer- oder Leitwerk und das Rechenwerk.

Der *Arbeitsspeicher*, meist als Ferritkern-, Dünnschicht- oder Magnetdrahtspeicher ausgeführt, nimmt Daten auf, die während des Arbeitsablaufs schnell verfügbar sein müssen (z. B. häufig benötigte Zahlen oder Zwischenergebnisse), sowie die durch das Programm vorgeschriebenen Befehle. Jedes Zeichen ist mit Hilfe seiner Adresse einer bestimmten Stelle des Speichers zugeordnet und kann mittels einer Lese-und-Schreib-Einrichtung geschrieben und gelesen werden (vgl. Speicher). Weitere Daten sind externen ↑ Speichern zu entnehmen.

Das *Steuerwerk* steuert sämtliche Vorgänge im D.en, indem es dem Arbeitsspeicher die durch das Programm vorgeschriebenen Befehle in der richtigen Reihenfolge entnimmt und zur Steuerung der vom D.en auszuführenden Operationen auswertet. Die Befehle liegen als Befehlswörter vor; das sind Zeichenkombinationen, die aus einem Operations- und einem Adressenteil zusammengesetzt sind. Jener gibt die durchzuführende Operation an, dieser, wo im Arbeitsspeicher sich der Operand (bzw. die Operanden) befindet (befinden), mit dem (denen) die Operation(en) zu vollziehen ist (sind). Das Befehlswort kann eine oder mehrere Adressen enthalten. *Einadreß-D.en* geben nur die Adresse des nächsten aufzurufenden Operanden an. *Dreiadreß-D.en* die Adressen des 1. und 2. Operanden sowie des Operationsergebnisses. Das Steuerwerk vollzieht folgende Arbeitsschritte: Abruf des Befehls aus dem Arbeitsspeicher, Befehlsentschlüsselung, d. h. Feststellen der durchzuführenden Operation und Steuerung ihres Ablaufs. Dies wiederholt sich bei jeder Operation, wobei jeweils nach Ausführung eines Befehls ein *Befehlszähler* weiterschaltet und der nächste durch das Programm vorgeschriebene Befehl abgerufen wird, während das *Befehlregister* den Befehl während seiner Ausführung speichert. Alle Vorgänge im D.en müssen in einem einheitlichen Takt verlaufen; z. B. müssen an den Eingängen logischer Schaltungen die Signale gleichzeitig auftreten. Deshalb ist ein *Taktgeber* – häufig ein Quarzoszillator, dessen Ausgangsspannung zu Impulsen geformt wird – vorhanden, der die Taktfrequenz bzw. ganzzahlige Teile oder Vielfache davon bereitstellt. Die höchste in einem D.en auftretende Taktfrequenz beträgt je nach Typ zwischen einigen 10 kHz und mehreren Megahertz und ist mitbestimmend für dessen Arbeitsgeschwindigkeit.

Das *Rechenwerk* führt die Operationen, z. B. arithmetische Operationen, logische Entscheidungen, Vergleiche, Stellenverschiebungen, aufgrund

der Daten und Befehle aus. Die Operationen werden mit Hilfe ↑ logischer Grundschaltungen und Kombinationen aus diesen auf einfachste Verknüpfungen (vor allem Addition) zurückgeführt. Bes. wichtig ist der *Adder* [von engl. to add, zusammenzählen], der als Halb- oder Volladder ausgeführt ist. Der Halbadder, der bei Addition zweier Binärziffern den Übertrag aus einer niedrigeren Stelle nicht berücksichtigt, besteht aus einer Antivalenz- und einer UND-Schaltung. Der Volladder, der auch den Übertrag berücksichtigt, wird aus 2 Halbaddern zusammengesetzt.
Der Arbeitsablauf im Rechenwerk erfordert ferner *Register*, die die zu verarbeitenden Operanden aufnehmen und für den weiteren Rechnungsgang unmittelbar benötigte Zwischenergebnisse speichern.
Operationsgeschwindigkeit des Rechenwerks (bis zu einigen 10^6 Operationen/s) und Zugriffszeit des Arbeitsspeichers (wenige 100 ns) sind ausschlaggebend für die Arbeitsgeschwindigkeit eines D.en. Man ist bemüht, diese durch neuartige Speicher und Verkürzung der Signallaufzeiten (z. B. Magnetblasenspeicher, Einsatz optoelektronischer Mittel) zu erhöhen. Weiterhin wird das Steuerwerk so ausgelegt, daß gleichzeitig mehrere Programme abgearbeitet werden können und dabei in den Baustufen des D.en möglichst geringe Wartezeiten entstehen. Oft benutzte Teilprogramme, z. B. Ziehen der Quadratwurzel, Berechnung eines Prozentsatzes, werden getrennt programmiert, als Unterprogramme gespeichert oder fest „eingebaut". Auch die Aufstellung und Anwendung synthetischer Programmiersprachen, mit deren Hilfe D.en einen Teil der in einem Programm auftretenden Befehle selbst „ausarbeiten" und so die Programmierarbeit erleichtern, erhöhen die Effektivität.
D.en werden zur Bearbeitung mathematischer und wissenschaftlich-technischer Probleme eingesetzt. Hierzu zählen u. a.: Lösung von Gleichungen oder Gleichungssystemen, Ermittlung von Funktionswerten, Berechnung des statischen oder dynamischen Verhaltens von Konstruktions- und Maschinenteilen, genaue Bestimmung der Flugbahnen von Geschossen, Raketen oder Raumflugkörpern, astronomische, geodätische und meteorologische Berechnungen. In der Technik überwachen, kontrollieren und steuern D.en u. a. Produktionsvorgänge (vgl. Prozeßrechner), Verkehrs- und Transportabläufe (z. B. Flugsicherung, Verkehrsfluß in Großstädten, automatische Steuerung von Schienenfahrzeugen). Die Möglichkeit, große Datenmengen schnell verarbeiten zu können, hat den D.en in der EDV eine noch ständig wachsende Anzahl von Anwendungsgebieten erschlossen. Sie werten z. B. statistisches Material aus, übernehmen Lohn- und Materialabrechnungen, Bedarfsermittlung und Lagerhaltung, führen Konten, liefern die Grundlagen für die optimale Lösung von Aufgaben der Planung und Leitung volkswirtschaftlicher Prozesse, helfen bei der Sammlung, Auswahl und Ordnung verschiedenartigster Informationen, bei der Zusammenstellung von Katalogen und Nachschlagewerken, werden für sprachwissenschaftliche Untersuchungen – bis zur automatischen Übersetzung – und als Hilfsmittel der medizinischen Diagnostik eingesetzt.

Zahlreiche Berechnungen in der Volkswirtschaft, in Verwaltungen, Konstruktionsabteilungen, Laboratorien usw., aber auch im täglichen Leben sind wenig umfangreich, kehren häufig wieder und erfordern keine großen Speicherkapazitäten und Operationsgeschwindigkeiten. Für solche Aufgaben stehen ↑ Kleinrechner bzw. ↑ Taschenrechner zur Verfügung.

Nach typischen Bauelementen (bzw. Baugruppen) und technischen Hauptparametern unterscheidet man nachstehende „Generationen" von D.en:

Generationen von Digitalrechenautomaten

1. Generation (1946–1958)	
Bauelemente/Baugruppen:	Röhren, Einzelverdrahtung
Arbeitsspeicher:	Magnettrommel
Operationszeiten:	im ms-bereich
Beispiel aus DDR-Produktion:	ZRA 1
2. Generation (1959–1963)	
Bauelemente/Baugruppen:	Halbleiterbauelemente, gedruckte Schaltungen, Modultechnik
Arbeitsspeicher:	Ferritkernspeicher
Operationszeiten:	im μs-Bereich
Beispiel aus DDR-Produktion:	R 300
3. Generation (ab 1964)	
Bauelemente/Baugruppen:	Integrierte Schaltkreise
Arbeitsspeicher:	Magnetdrahtspeicher, Ferritkernspeicher
Operationszeiten:	im μs- bis ns-Bereich
Beispiel aus DDR-Produktion (ESER)	EC 1040
4. Generation (ab 1971)	
Bauelemente/Baugruppen:	Integrierte Großschaltkreise, Mikroprozessoren
Arbeitsspeicher:	Dünnschichtspeicher, MOS-, Ladungsverschiebungs-, Domänentransport- (Magnetblasen-) Speicher
Operationszeiten:	im μs- bis ns-Bereich
Beispiel aus DDR-Produktion:	Taschenrechner „Minirex"

Geschichtliches. Programmgesteuerte D.en auf mechanischer Grundlage wurden bereits in der 1. Hälfte des 19. Jh. entworfen, z. B. 1821 von *Charles Babbage* ein Rechenautomat mit Lochkartensteuerung nach dem

Jacquard-Prinzip. *Hermann Hollerith* baute 1889 die ersten Lochkartenmaschinen. Funktionsfähige D.en mit elektrischen Bauelementen, bes. Relais, und Lochbandsteuerung entwickelte etwa ab 1935 vor allem der Bauingenieur *Konrad Zuse*, der auch das ↑ Dualsystem einführte. Die interne Programmsteuerung geht auf *John von Neumann* zurück (1947). Der erste elektronische D. „ENIAC" (Abk. für *E*lectronic *N*umerical *I*ntegrator *A*nd *C*alculator) entstand 1943/46 in den USA unter der Leitung von *J. P. Eckert, H. Mauchly* und *Goldstine* für militärische Zwecke (ballistische Berechnungen); er enthielt u. a. nahezu 18 000 Elektronenröhren. Entscheidend für die Konstruktion leistungsfähiger D.en war vor allem der Übergang zur Bestückung mit Halbleiterbauelementen und die Einführung von Arbeitsspeichern großer Kapazität und geringer Zugriffszeit sowie von integrierten Schaltkreisen.

Diktiergerät: meist mit Magnetband bzw. Magnetband-Kassetten, seltener mit Folien, Platten oder Stahldraht als Speichermittel arbeitendes Schallaufnahme- und -wiedergabegerät, das bes. den Bedingungen des Büro- und Verwaltungsbetriebes Rechnung trägt und zur Aufnahme von Diktaten, Notizen, Telefongesprächen u. a. bestimmt ist. D. sind daher so eingerichtet, daß bei Aufnahme und Wiedergabe beliebige Stellen der Aufnahme leicht auffindbar, wiederholbar oder zu löschen und erneut zu besprechen sind. Die Bedienung bei Wiedergabe erfolgt meist über einen Fußschalter, damit die Hände des Hörenden frei bleiben.

Reise-D. (z. B. für Journalisten, Reporter, Dienstreisende) haben z. T. Taschenformat und Batteriebetrieb. Zusatzeinrichtungen zu D.en ermöglichen Mitschnitt von Telefongesprächen oder auch Diktat über eine Fernsprechleitung (z. B. Verbindung mit einem zentralen Schreibzimmer über die Hausfernsprechanlage).

DIL-Gehäuse ↑ integrierte Schaltung.

Diode: 1. *D., Röhren-D.*: direkt oder indirekt geheizte Elektronenröhre (*Hochvakuum-D.*) oder Gasentladungsröhre (*gasgefüllte D.*) mit 2 Elektroden (Katode und Anode).

1.1. *Hochvakuum-D.*: Außer dem meist vernachlässigbar kleinen ↑ Anlaufstrom kann nur Strom durch die D. fließen, wenn die Anode gegenüber der Katode positiv ist und Elektronen anzieht. Liegt Wechselspannung zwischen Anode und Katode, so sperrt die D. alle Wechselstromhalbwellen, bei denen die Anode gegenüber der Katode negativ ist; durch die D. fließt dann eine Folge von Impulsen gleicher Stromrichtung. Daraus ergibt sich als wichtigstes Anwendungsgebiet der D. die Gleichrichtung von Wechselspannungen bis zu 100 kV, Strömen < 1 A (D. als *Gleichrichterröhre*). Die Zweiweg-Gleichrichterröhre enthält 2 Anoden und ermöglicht so mit geringem Schaltungsaufwand die Gleichrichtung beider Halbwellen eines Wechselstroms.

Der Zusammenhang zwischen Anodenspannung U_a und -strom I_a einer D. wird durch ihre *Kennlinie* wiedergegeben (Abb. *1*). Der durch den Anlaufstrom geformte Kennlinienteil links der Ordinate heißt *Anlaufstromgebiet*. Das *Raumladungsgebiet* mit ausgeprägter Abhängigkeit des

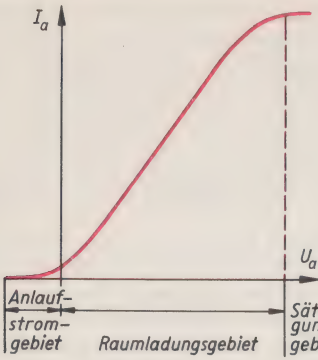


Abb. 1: Kennlinie einer Röhrendiode

Anodenstroms von der Anodenspannung hat seinen Namen von der mit wachsender Anodenspannung zunehmenden Saugwirkung der Anode auf die Raumladung in Katodennähe. Das Raumladungsgebiet ist für die Funktion der D. ausschlaggebend. Im *Sättigungsgebiet* hat sich die Raumladung aufgelöst, weil alle von der Katode emittierten Elektronen sofort zur Anode fliegen. Da die meisten Elektronenröhren bereits vor Erreichen des Sättigungsgebiets durch Überlastung der Katode zerstört werden, ist dieses Gebiet nur in Sonderfällen zu nutzen (s. u.).

1.2. *gasgefüllte D.*: Diese D. (auch *Glühkatoden-* oder *Edelgasgleichrichter*) dient ausschl. der Gleichrichtung von Wechselströmen niedriger Frequenz (bes. Netzwechselstrom). Durch Elektronenemission der Katode wird im mit einem Edelgas oder Quecksilberdampf unter niederem Druck gefüllten Kolben eine Gasentladung gezündet und aufrechterhalten. Die Brennspannung der Gasentladung liegt etwa zwischen 10 und 15 V, der Spannungsabfall in der D. ist weit geringer als in einer Hochvakuum-D. Die D. wird für Spannungen < 20 kV und Ströme < 10 A produziert.

Rausch-D. sind im Sättigungsgebiet arbeitende, direkt geheizte Hochvakuum-D., die der Gewinnung einer veränder- und reproduzierbaren Rauschspannung dienen (vgl. Rauschen). Infolge des Schroteffekts fließt im Anodenkreis der Rausch-D. ein Rauschstrom. Es kann eine Rauschleistung abgenommen werden, deren Größe in einem weiten Frequenzbereich frequenzunabhängig ist und durch Verändern der Heizspannung eingestellt wird. Rausch-D. für Frequenzen > 1 GHz haben Edelgasfüllung und sind so gestaltet, daß sie sich unmittelbar in ↑ Hohlleiter einfügen lassen.

2. *Halbleiter-D.*: Halbleiterbauelement mit 2 Anschlüssen, dessen Funktion auf Erscheinungen an einem oder mehreren ↑ *pn*-Übergängen beruht. Halbleiter-D. werden als ↑ Gleichrichter für kleine und große Leistungen, zur ↑ Modulation, Demodulation sowie zur Gewinnung von Regelspannungen (vgl. Schwundregelung), zur ↑ Mischung und Schwingungserzeu-

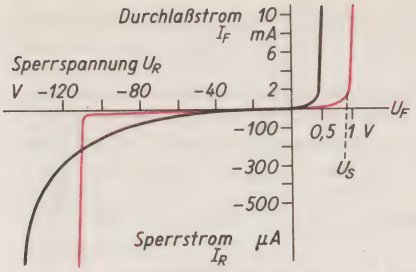


Abb. 2: Kennlinien einer Germanium- (*schwarz*) und einer Silizium-Diode (*rot*)

gung, als elektronischer Schalter, als steuerbare Kapazität, in ↑ Begrenzern und Stabilisierungsschaltungen, für die Umwandlung von Licht- in Strom- und Spannungsschwankungen und umgekehrt sowie als Strahlungsdetektor eingesetzt.

Die Kennlinie der Abb. *2* und die Maßeinheiten an der *y*-Achse zeigen, daß durch die Wirkung des *pn*-Übergangs einem Durchlaßstrom I_F in Flußrichtung ein um ein Vielfaches geringerer Rest- oder Sperrstrom I_R in Sperrichtung gegenübersteht. Der Durchlaßstrom setzt merklich bei der Schleusenspannung U_S (< 1 V) ein und steigt exponentiell mit der in Flußrichtung angelegten Spannung U_F, sein Maximalwert ist durch Aufbau und Wärmeentwicklung der D. begrenzt. Wegen der zunehmenden Eigenleitung darf im Betrieb eine max. Sperrschichttemperatur nicht überschritten werden (etwa 80 °C bei Ge-, etwa 150 °C bei Si-D.). Die zulässige Sperrspannung $U_{R\max}$ hängt vom Werkstoff und von der Herstellungstechnologie der D. ab und kann für Ge-D. mehrere 100 V, für Si-D. mehrere 1000 V erreichen. Wird sie überschritten, so steigt die Stromstärke in Sperrichtung steil an; der *pn*-Übergang verliert dann seine Ventilwirkung. Ursache ist u. a. der *Lawinendurchbruch* (*Lawinen-* oder *Avalancheeffekt*). Bei hohen Sperrspannungen werden die in der Sperrschicht befindlichen Elektronen und Defektelektronen durch die hohe elektrische Feldstärke innerhalb des *pn*-Übergangs so beschleunigt, daß sie (der Stoßionisation vergleichbar, ↑ Ion) neue Ladungsträgerpaare erzeugen, die ihrerseits beschleunigt werden, weitere Ladungsträger erzeugen usw. Auch der Zener-Effekt (vgl. S. 81) bewirkt ein steiles Ansteigen des Sperrstroms.

Nach Anordnung und Ausbildung des *pn*-Übergangs werden 2 Grundarten von Halbleiter-D. unterschieden:

2.1. In *Spitzen-* und *Punktkontakt-D.* ist der *pn*-Übergang als Teil einer Kugelschale von sehr geringem Radius („punktförmig") an der Berührungsstelle zwischen einem vordotierten Halbleiter-Einkristallstückchen und einer Drahtspitze ausgebildet. Beim *Formieren* mit Hilfe eines Stromstoßes paßt sich die Drahtspitze durch eine Art Schweiß- und Fließvorgang der Kristalloberfläche an und verbindet sich mit ihr. Gleichzeitig entsteht in unmittelbarer Nähe der Berührungsstelle im Kristall der *pn*-Übergang. Spitzen-D. werden im NF- und HF-Bereich eingesetzt,

aber wegen des kleinflächigen *pn*-Übergangs nur bis zu Strömen von einigen 10 mA; aufgrund der geringen Sperrschichtkapazität (s. u.) sind sie aber bis in den Mikrowellenbereich anwendbar.

2.2. In *Flächen-D.* wird der *pn*-Übergang im Inneren des Halbleitermaterials erzeugt (↑ Halbleiterbauelement), wodurch je nach Herstellungstechnologie z. B. Legierungs-, Planar- und Epitaxie-D. entstehen. Flächen-D. sind ebenfalls im NF- und HF-Bereich einsetzbar. Sie haben wegen des bei entspr. Ausführung hoch belastbaren, großflächigen *pn*-Übergangs größte Bedeutung als Leistungsgleichrichter erlangt und verarbeiten gegenwärtig Ströme bis um 2000 A. Ausgangsmaterial ist wegen der hohen zulässigen Sperrschichttemperatur und des geringen Sperrstroms meist Silizium. Die freiwerdende Verlustwärme wird durch großflächige Montagebleche, Kühlflügel, häufig auch Anblasen mit einem Luftstrom abgeführt. Wichtige Vorteile von Si-Leistungsgleichrichter-D. sind ein hoher Wirkungsgrad (> 99 %) und die aufgrund hoher Sperrspannung und großer zulässiger Stromdichte (> 200 A/cm^2) geringen Abmessungen, die es ermöglichen, auch für sehr große Leistung (z. B. > 100 MW) ökonomische und raumsparende Lösungen zu finden.

Neben *Universal-D.*, meist Ge-Spitzen-D., die bis in den Höchstfrequenzbereich z. B. zur Demodulation und Modulation eingesetzt werden, entstanden zahlreiche D. für Sonderzwecke, bei denen es sich meist um Flächen-D., aber auch um Sonderformen der Spitzen-D. handelt. Häufig werden mehrere D. für Gleichrichtung, Modulation oder Schaltzwecke, z. B. als *D.nquartett*, gemeinsam hergestellt und verkapselt.

D. für Schaltzwecke, *Schalt-D.*, sollen in Durchlaßrichtung sehr geringen, in Sperrichtung sehr hohen Widerstand aufweisen (Verhältnis von $1:10^{10}$); auch müssen, vor allem bei hohen Schaltfrequenzen, die beim Umschalten auftretenden Verzögerungen möglichst gering sein. Diese werden am *pn*-Übergang dadurch hervorgerufen, daß zum Erhöhen und Verringern der Raumladungen der Sperrschicht eine endliche Zeitspanne erforderlich ist. Diese Forderungen werden von Si-Epitaxie-, Planar- und *Golddraht-D.* erfüllt. Letztere ist eine Spezialform der Spitzen-D. mit Schaltzeiten um 1 ns, in der ein galliumhaltiger, sehr dünner Golddraht einem *n*-leitenden Ge-Kristall aufsitzt und beim Formieren ein *pn*-Übergang gebildet wird.

Die *Kapazitäts-D.* wird als steuerbare Kapazität verwendet. Ihre Wirkung beruht darauf, daß die Sperrschicht einer Si-Flächen-D. das Dielektrikum eines Kondensators mit *n*- und *p*-Gebiet als Belägen bildet und daß die Sperrschichtbreite von der Sperrspannung abhängt. Durch Änderung der Sperrspannung werden Kapazitätsänderungen bis $1:10$ erzielt. Die Grundschaltung der Kapazitäts-D. zur Frequenzeinstellung eines Schwingungskreises zeigt Abb. *3*: Die Steuerspannung wird am Potentiometer R_1 abgegriffen und der D. über den Widerstand R_2 zugeführt, der einen Nebenschluß des Schwingungskreises verhindert. Die Steuerspannung muß meist zusätzlich stabilisiert werden, da bereits kleine Spannungsschwankungen erhebliche Kapazitätsänderungen der D. zur Folge

haben. Kapazitäts-D. werden für Frequenzregeleinrichtungen, z. B. für die automatische ↑ Scharfabstimmung und für die Frequenzmodulation (↑ Modulation), des weiteren in den Abstimmkreisen von Empfängern (Möglichkeit der Fernbedienung der Abstimmung, Drucktasten- oder Berührungsschalter-Senderwahl mit Hilfe umschaltbarer, fest eingestellter Abstimmkreise, Schaltungen zum selbsttätigen Sendersuchlauf u. a.) und zur Bandbreitenregelung von HF-Verstärkern eingesetzt; sie sind ferner unentbehrlich in parametrischen ↑ Verstärkern. Eine Kapazitäts-D. zur Frequenzvervielfachung, die vorwiegend bei hohen Frequenzen eingesetzt wird, heißt *Varaktor*.

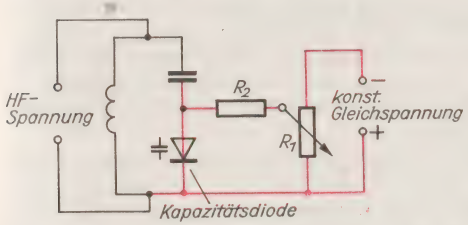


Abb. 3: Grundschaltung einer Kapazitätsdiode im Schwingungskreis

Die *Vierschicht-D.* nach dem amerikanischen Physiker *William Bradford Shockley* auch *Shockley-D.* genannt, enthält in Silizium, seltener in Germanium, zwischen Gebieten der Leitfähigkeitsfolge *pnpn* 3 *pn*-Übergänge. Die D. wirkt zunächst für beide Stromrichtungen sperrend; es fließt nur der geringe Sperrstrom. Wird die Spannung über einen bestimmten Wert, die Schaltspannung, erhöht (z. B. durch einen zusätzlichen Spannungsimpuls), so kommt es zum Lawinendurchbruch. Der Sperrstrom steigt innerhalb kürzester Zeit auf einen Maximalwert (Begrenzung durch einen äußeren Widerstand), wobei Ladungsträger aus den dem mittleren *pn*-Übergang benachbarten *n*- und *p*-Gebieten nachgeliefert werden. Wird der Strom, z. B. durch Erhöhen des Begrenzungswiderstands oder kurzzeitiges Unterbrechen der Betriebsspannung, bis zum Unterschreiten eines bestimmten Haltestroms verringert, dann sperrt die D. erneut. Der Widerstand der Vierschicht-D. liegt in leitendem Zustand zwischen einigen Ohm und wenigen 10 Ω, in sperrendem Zustand bei Werten zwischen 10 und 100 MΩ. Sie verhält sich daher ähnlich wie ein Schalter, wird aber außerdem auch zum Aufbau von ↑ Triggern, ↑ Sägezahngeneratoren, ↑ Multivibratoren und Zählschaltungen angewendet. Wird eine Si-Flächen-D. in Sperrichtung angeschlossen und die Spannung allmählich erhöht, so ist bereits vor Eintreten des Lawinendurchbruchs bei einer Spannung, die je nach Dotierung und Technologie der D. zwischen einigen Volt und einigen 100 V liegt, ein starkes Anwachsen des Sperrstroms zu beachten. Dieser kann durch Senken der Spannung wieder auf seinen urspr. Wert gebracht werden. Ursache dieser Erscheinung ist der nach seinem Entdecker, dem amerikanischen Physiker *Clarence Zener*, benannte *Zener-Effekt*. Überschreitet die elektrische Feldstärke

im Bereich des *pn*-Übergangs einen bestimmten durch die *Zener-Spannung* festgelegten Wert, so tritt im Innern des Halbleiters Feldemission (vgl. Elektronenemission) auf, durch die Elektronen aus dem Valenzband in das Leitungsband transportiert werden (↑ Bändermodell); infolgedessen steigt die Leitfähigkeit in Sperrichtung stark an. Bei höherer Spannung herrscht der Lawinendurchbruch vor. In *Z-D.* (früher *Zener-D.* genannt) werden für Spannungen bis um 200 V, vor allem aber für Spannungen < 10 V, beide Effekte genutzt. Z-D. können, sofern durch die Schaltungsparameter eine Überlastung verhindert wird, ständig im Durchbruchbereich, d. h. im Bereich des wachsenden Sperrstroms, betrieben werden. Ihr Widerstand ist für Spannungen groß, die unterhalb der Zener-Spannung bleiben, aber niedrig für Spannungen, die diese überschreiten. Daraus ergeben sich als Anwendungsgebiete die ↑ Spannungsstabilisierung und -begrenzung, die Gewinnung fester Bezugsspannungen (↑ Referenzelement), Schutzschaltungen gegen Überspannungen (z. B. bei Meßinstrumenten) u. a.

Die *Feldeffekt-D.* (*FED*), eine Sonderform der Z-Diode, ähnelt im Aufbau dem Feldeffekt-Transistor (↑ Transistor 2.). Innerhalb eines bestimmten Bereichs einer in Sperrichtung anliegenden Spannung ist die Stromstärke nahezu spannungsunabhängig. Daher ist die Feldeffekt-D. bes. für die Strom- bzw. Spannungsstabilisierung und -begrenzung geeignet.

Die *Tunnel-D.*, nach dem japanischen Physiker *Leo Esaki* auch *Esaki-D.* genannt, ist durch einen extrem dünnen *pn*-Übergang gekennzeichnet, der 2 Gebiete sehr hoher Störstellenkonzentration trennt. Sie hat keine Sperrwirkung; ihr Kennlinienverlauf (Abb. *4*) unterscheidet sich im Durchlaßbereich von 0 V bis zu Spannungen U_F von einigen 10^{-1} V grundsätzlich von der D.nkennlinie der Abb. *2*. Ursache dieses Verhaltens ist der aus der Physik bekannte *Tunneleffekt*, nach dem hier Ladungsträger die Sperrschicht auch dann wie durch einen „Tunnel" passieren können, wenn ihre Energie nach den Gesetzen der klassischen Physik hierfür nicht ausreichen würde. Bis zum *Höckerstrom* I_H steigt durch den Tunneleffekt der Strom I_F steil an. Bei weiterer Spannungserhöhung sinkt unter dem Einfluß der äußeren Spannung die Feldstärke

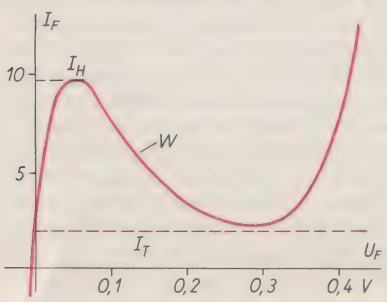


Abb. *4*: Kennlinie einer Tunneldiode

im *pn*-Gebiet. Tunneleffekt und Strom nehmen ab, letzterer bis zum Minimum, dem Talstrom I_T. Von da ab steigt die Kennlinie ähnlich wie in Abb. 2. Zwischen I_H und I_T hat die Kennlinie einen Bereich negativer Steigung (W), d. h., der dynamische Innenwiderstand der Tunnel-D. ist hier negativ. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, die Tunnel-D., bei deren Herstellung von Germanium, Silizium oder Galliumarsenid ausgegangen wird, im Höchstfrequenzbereich (bis etwa 100 MHz) als Oszillator und Verstärker, außerdem als Schalter mit Schaltzeiten im ns-Bereich anzuwenden. Bei einer Sonderform der Tunnel-D., der *Backward-D.* (Rückwärts-D.), tritt der Tunneleffekt eingeschränkt (ohne Ausbildung eines Bereichs mit negativer Steigung) bei geringen Sperrspannungen auf, wodurch ein sehr steiler Stromanstieg bei niedrigen Sperrspannungen, also in Rückwärtsrichtung, auftritt. Sie dient zur Gleichrichtung kleinster Signale, meist im Mikrowellenbereich.

Bei der *Lawinen-(Laufzeit)-D.* oder *IMPATT-D.* [Abk. von engl. *Im*pact Ionization and *A*valanche *T*ransit *T*ime, etwa Stoßionisation und Übergangszeit beim Lawinendurchbruch] wirken in Sperrichtung Avalanche-Effekt und endliche Ladungsträgerlaufzeit so zusammen, daß die D. einen negativen dynamischen Widerstand aufweisen und zur Schwingungserzeugung im Mikrowellenbereich benutzt werden können. Bei Frequenzen von etwa 5 GHz werden bereits Leistungen > 10 W erreicht.

Entscheidendes Merkmal der *Schottky-D.* (nach einem von dem deutschen Physiker *Walter Schottky* untersuchten und nach diesem benannten Effekt), auch als *Schottky-Barrier* (*Schottky-Wall-*) oder *Hot-Electron-D.* [engl. D. mit heißen Elektronen] bez. D., ist ein Metall-Halbleiterkontakt z. B. zwischen Vanadin und *n*-dotiertem Silizium oder Galliumarsenid. Aufgrund des Schottky-Effekts, einer inneren Feldemission (vgl. Elektronenemission) an Grenzflächen, bildet sich am Übergang Metall/Halbleiter ein elektrisches Feld und dadurch eine von Ladungsträgern schwer überschreitbare „Barriere" (Potentialwall). Bei Anschluß der D. in Flußrichtung (Pluspol der Spannungsquelle am Metall) werden energiereiche („heiße") Elektronen vom Halbleitermaterial in das Metall injiziert, wo sie innerhalb kürzester Zeit (etwa 10^{-12} s) ihre hohe Energie durch Stoß abgeben und sich dann wie Leitungselektronen im Metall verhalten. Diese können beim Umpolen in Sperrichtung nicht mehr die Potentialbarriere überwinden, so daß sich extrem kurze Schaltzeiten von etwa 0,1 ns ergeben. Wegen der geringen Sperrschichtkapazität von etwa 1 pF und günstiger Rauscheigenschaften ist die Schottky-D. bes. für den Einsatz im Mikrowellenbereich (theoretische Frequenzgrenze etwa 10^3 GHz), z. B. für Anordnungen zur ↑ Mischung oder ↑ Demodulation, geeignet. Sie wird außerdem als sehr schnelle Schalt-D. eingesetzt. Die Magnet-D. ist ein magnetisch gesteuertes Halbleiterbauelement, dessen Hauptteil eine in Betrieb z. B. durch flüssigen Stickstoff auf Temperaturen unter etwa 100 K gekühlte D. auf der Grundlage von Indiumantimonid ist. Sie wird als magnetisch gesteuerter Schalter verwendet.

In der *PIN-D.* trennt eine eigenleitende [engl. *i*ntrinsic] Schicht *p*- und

n-Gebiet. Oberhalb einer bestimmten, im HF- oder Höchstfrequenzbereich liegenden Frequenz verhält sich die in Durchlaßrichtung betriebene PIN-D. nahezu wie ein Ohmscher, durch den D.nstrom steuerbarer Widerstand. Das ermöglicht u. a. Anwendung in steuer- bzw. regelbaren ↑ Dämpfungsgliedern, z. B. in Breitbandkabelverstärkern.

Einen Bereich negativen dynamischen Widerstands hat auch die *Lambda-D.* (benannt nach ihrer dem Buchstaben λ ähnelnden Kennlinie), eine Kombination aus 2 komplementären Sperrschicht-FET (↑ Transistor 2.). Sie wird u. a. für Schaltfunktionen und in Oszillatoren eingesetzt.

Die *Foto-D.* ist eine Flächen-D., meist auf der Basis von Germanium oder Silizium, deren *pn*-Übergang so liegt, daß Licht zu ihm vordringen kann. Die D. wird in Sperrichtung und in Reihe mit einem Widerstand an eine Spannungsquelle angeschlossen. Ihre Wirkungsweise beruht auf dem inneren ↑ lichelektrischen Effekt: Ist der *pn*-Übergang unbelichtet, so fließt nur ein schwacher Sperrstrom. Dringt Licht zum Übergang vor, dann werden Ladungsträgerpaare, Elektronen und Löcher, erzeugt, die der Ladungsträgerverarmung der Sperrschicht entgegenwirken und ein Ansteigen des Sperrstroms zur Folge haben. Die Stärke des so entstehenden Fotostroms ist der Beleuchtungsstärke proportional, am Widerstand kann eine der Beleuchtungsstärke proportionale Spannung abgenommen und für Steuerzwecke verwendet werden. Foto-D. zeichnen sich durch hohe Empfindlichkeit und geringe Trägheit aus. Ihre größte Empfindlichkeit kann in den sichtbaren, aber auch in den IR- oder UV-Teil des Spektrums gelegt werden. Bei fehlender äußerer Spannungsquelle arbeitet die Foto-D. als ↑ Fotoelement. Foto-D. haben z. B. in der BMSR-Technik große Bedeutung als lichtelektrische Wandler erlangt.

Bei der Rekombination von Ladungsträgern wird ein bestimmter Energiebetrag frei. Er entspricht der Energie, die nötig war, um ein Elektron aus dem Valenzband in das Leitungsband zu heben, und tritt in den meisten Halbleitern als Wärme in Erscheinung, bei manchen Halbleitern jedoch in Form kurzwelliger Strahlung. Darauf beruht die *Lumineszenz-D.* (Leucht-D., LED), die z. B. aus Galliumarsenid mit hoher Störstellenkonzentration besteht. Wird sie in Flußrichtung an eine Spannungsquelle angeschlossen, so dringen zahlreiche Ladungsträger in das *pn*-Gebiet vor, wo sie rekombinieren. Dabei entsteht eine im IR- oder im sichtbaren Teil des Spektrums liegende Strahlung (vgl. Laser). Ihr Austritt wird durch entspr. Gestaltung erleichtert. Neben Ausführungen für einfarbiges Licht (z. B. rot, grün) stehen auch Lumineszenz-D. zur Verfügung, die durch geeignete Anordnung von 2 *pn*-Übergängen und unterschiedliche Dotierung des D.nmaterials wahlweise rotes, grünes und als Mischfarbe gelbes Licht aussenden. Lumineszenz-D. eignen sich – u. a. wegen ihrer geringen Abmessungen, Durchmesser z. B. < 3 mm – für Anzeigevorrichtungen (vgl. Lumineszenzanzeige) sowie als Bestandteile von Geräten und Systemen der ↑ Optoelektronik.

Gunn-D. ↑ Gunn-Element; Laser-D. ↑ Laser.

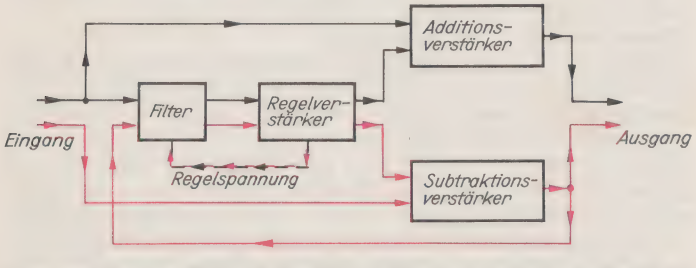
Diodenanschluß: Anschlußmöglichkeit für ein Magnetbandgerät an Rundfunk- und Fernsehempfängern zur Bandaufnahme und -wiedergabe von Sprach- und Musiksendungen. Der D. ist unmittelbar hinter dem Empfangsgleichrichter angeordnet. Von diesem gelangt die Tonfrequenzspannung bei Bandaufnahmen unmittelbar zum Magnetbandgerät, ohne den Niederfrequenzverstärker des Empfängers zu passieren. Die Aufnahme wird dann unabhängig von der Stellung des Lautstärkereglers und der Klangregeleinrichtungen im Empfänger. Umgekehrt durchläuft bei Magnetbandwiedergabe das Signal vom Bandgerät den ganzen NF-Verstärker des Empfängers, nutzt also seine Möglichkeiten zur Lautstärkeregelung und Klangbeeinflussung. Magnetbandgerät und Empfänger sind durch ein mehradriges Kabel mit genormten Steckern verbunden.
Diplexverfahren ↑ Frequenzumtastung.
Dipol und **Direktor** ↑ Antenne.
Disjunktion ↑ logische Grundschaltungen.
Diskriminator: Schaltung, mit der Änderungen der Parameter einer elektrischen Größe, insbes. Frequenz-, Phasen- oder Amplitudenänderungen von Wechselspannungen oder -strömen, in eine diesen Änderungen proportionale Spannung zur Steuerung nachfolgender Baustufen, z. B. eines Verstärkers, umgewandelt werden. Der D. wird vor allem in Demodulatoren für frequenz- und phasenmodulierte Signale (vgl. Demodulation 2.) oder zur Gewinnung der Steuerspannung in Einrichtungen zur automatischen ↑ Scharfabstimmung und Frequenzregelung angewendet.
Display [engl. Entfaltung, Darstellung], *Display Unit*: Bildschirmanzeigeeinrichtung, bes. für Ziffern, Buchstaben und Zeichen.
Diversityempfang ↑ Mehrfachempfang.
DME-System [Abk. für engl. *D*istance *M*easuring *E*quipment, Entfernungsmeßeinrichtung]: auf Frequenzen um 10^3 MHz arbeitendes Entfernungsmeßsystem der Luftfahrt, mit dem der Abstand von einer DME-Bodenstation bis zu einer Entfernung von fast 400 km gemessen werden kann. Das DME-S. arbeitet nach dem Prinzip des Sekundärradars (↑ Radar). Ein Abfragesender an Bord (*Interrogator*) strahlt der Bodenstation (*Transponder*) Impulse auf einer dieser zugeordneten Frequenz zu. Der Empfänger des Transponders löst daraufhin Antwortimpulse seines Senders aus, die an Bord empfangen werden. Die entfernungsabhängige Laufzeit von Abfrage- und Antwortimpulsen wird an Bord gemessen und in Entfernungsangaben umgesetzt. Um Antworten durch nicht abgefragte Bodenstationen bzw. Empfang für andere Flugzeuge bestimmter Antwortimpulse zu verhindern, sind bes. Vorkehrungen nötig. Neben der Einteilung des DME-Frequenzbereichs in über 100 Kanäle dient dazu das Senden von Doppelimpulsen, deren Abstand variiert werden kann. Der Empfänger spricht nur auf Impulspaare an, die den eingestellten Abstand haben.
Standlinie beim DME-S. ist ein Kreis. Standortermittlung durch Abfragen eines 2. Transponders ist möglich, aber zweideutig, da sich 2 Schnittpunkte der Kreise ergeben. Gegenwärtig arbeiten DME-Anlagen fast

ausschl. mit UKW-Drehfunkfeuern im ↑ Rho-Theta-Verfahren zusammen.

Dolby-System: vor allem von dem amerikanischen Physiker *Ray M. Dolby* in England entwickeltes Verfahren zur Verbesserung des Signal-Rauschabstandes (↑ Rauschen) und zur Unterdrückung von Rausch-, Zisch- und Rumpelgeräuschen bei elektroakustischen Aufnahmen, Übertragungen und Wiedergaben. Abweichend von bloßer ↑ Dynamikregelung arbeitet das D. amplituden- und frequenzabhängig und ist bes. bei kleinen Signalamplituden und in dem Frequenzbereich wirksam, in dem das Rauschen stört (hohe und mittlere Frequenzen).

Das Signal wird über den für Aufnahme und Wiedergabe gleichen *Dolby-Stretcher* [engl. Dolby-Dehner] geleitet. In diesem wird bei dem bes. für Studiozwecke benutzten Dolby-A-System das gesamte Tonfrequenzspektrum in 4 Teilbereiche getrennt, die zur Rausch- und Störspannungsunterdrückung unabhängig voneinander weiterverarbeitet werden.

Die Signale erreichen bei Aufnahme (Abb.) den jedem Teilzweig zugeordneten Additionsverstärker direkt und über das Filter den nachgeschalteten Regelverstärker. In diesem wird eine Regelspannung gewonnen, die so auf den Filterausgang wirkt, daß der Regelverstärker die zur erwünschten Anhebung nötige Steuerspannung erhält. Im Additionsverstärker werden direktes und angehobenes Signal gleichphasig zusammengeführt („addiert"). Die Ausgangssignale der Additionsverstärker steuern gemeinsam das Aufnahmegerät.



Signalwege in einem Teilzweig des Dolby-A-Stretchers, Aufnahme (*schwarz*) und Wiedergabe (*rot*); Filter 1: Tiefpaßfilter f_g = 80 Hz, Filter 2: Bandpaßfilter f_u = 80 Hz, f_o = 3 kHz, Filter 3: Hochpaßfilter f_g = 3 kHz, Filter 4: Hochpaßfilter f_g = 9 kHz

Bei Wiedergabe gelangt das einem Teilzweig zugeordnete Signal direkt zum Subtraktionsverstärker, dessen Ausgangsspannung teilweise und mit einer Phasendrehung um 180° dem Filter zugeführt und wie bei Aufnahme angehoben wird. Wegen dieser Phasendrehung jedoch wird das Ausgangssignal des Regelverstärkers im Subtraktionsverstärker vom direkten Signal „subtrahiert". Die urspr. Dynamik ist damit wiederhergestellt, wobei jedoch wegen der frequenz- und amplitudenabhängigen Filter-

zweige das Rauschen u. a. Störgeräusche um den Betrag der vorherigen Anhebung vermindert werden.
Geringeren Aufwand erfordert die Variante *Dolby-B-System*, die bes. für Geräte der Unterhaltungselektronik entwickelt wurde. An die Stelle von 4 Teilzweigen tritt ein Nebenzweig. Er enthält ein Hochpaß-Filter, dessen Grenzfrequenz vom Eingangssignalpegel abhängig mittels der vom Regelverstärker stammenden Regelspannung so verschoben wird, daß die Signalanhebung bzw. -absenkung jeweils nur im erwünschten Frequenzbereich erfolgt.
Das. D. hat bes. die Qualität von Magnetbandaufnahmen und -wiedergaben erhöht (Bandrauschen, vgl. Magnetband). In der Version *B* wird es in Heimgeräten, insbes. in Kassetten-Rekordern, angewandt. Die Wiedergabe „dolbysierter" Aufnahmen mit Geräten ohne Dolby-Stretcher ist möglich. Die dann hörbare Höhenbetonung kann durch ↑ Klangregelung teilweise kompensiert werden.
Auch für Tonfilmaufnahmen und -wiedergaben wird das D. eingesetzt. Versuche, es für Hörfunk-Stereoübertragungen anzuwenden, werden in mehreren Staaten unternommen.

Dolmetscheranlage: elektroakustisches Übertragungssystem, mit dessen Hilfe bei internationalen Veranstaltungen die Vorträge an allen Teilnehmerplätzen in einer Konferenzsprache oder mehreren Weltsprachen mitgehört werden können. Das Rednermikrofon steuert nicht nur die Lautsprecheranlage der Veranstaltungsräume, sondern auch Lautsprecher oder Kopfhörer in schalldichten Kabinen, wo Simultandolmetscher den übersetzten Text in Mikrofone sprechen. Jedes dieser Mikrofone ist über einen Verstärker mit jeweils einer von mehreren Anschlußbuchsen verbunden, die an jedem Sitzplatz vorhanden sind. Der Teilnehmer steckt seinen Kopfhörer in die betr. Anschlußbuchse der gewünschten Sprache. Damit sich die Teilnehmer frei bewegen können, werden D. häufig drahtlos ausgeführt. Mit dem übersetzten Text werden leistungsschwache Sender moduliert, deren Energie einer im Saal als Schleife ausgelegten Antenne zugeführt wird. Die Kopfhörer der Teilnehmer enthalten einen einfachen, miniaturisierten Empfänger; die Wahl der Sprache geschieht durch Einstellung einer bestimmten von verschiedenen Frequenzen.

Donatoren ↑ Halbleiter.

Doppler-Effekt: von dem österreichischen Physiker *Christian Doppler* entdeckte Erscheinung, daß ein Beobachter eine Frequenzänderung Δf einer Wellenquelle (Schall- oder Lichtquelle, Funksender) feststellt, wenn sich die Entfernung zwischen ihm und der Wellenquelle ändert. Entfernungsabnahme bewirkt eine Frequenzerhöhung, Entfernungszunahme eine Frequenzverringerung. Für elektromagnetische Wellen und allg. für Wellen, deren Ausbreitungsgeschwindigkeit groß gegenüber der Relativgeschwindigkeit Wellenquelle/Beobachter ist, gilt bei allen technisch realisierbaren Geschwindigkeiten (+ für Entfernungsabnahme, − für Entfernungszunahme) $\Delta f = \pm f_q\,(v/c)$, worin f_q die Frequenz der Wellenquelle, c die Lichtgeschwindigkeit und v die Relativgeschwindig-

keit Wellenquelle/Beobachter bedeuten. Der D. wird u. a. bei Geschwindigkeitsmessungen (Doppler-↑ Radar), in der Navigation (↑ Doppler-Navigator), in ↑ Peilanlagen sowie zur Bahnvermessung und Ortung von Satelliten angewendet (ebenfalls mit dem Doppler-Radar).

Doppler-Navigator: Funkortungs- und -navigationsanlage der Luftfahrt auf der Grundlage des ↑ Doppler-Effekts. Ein Bordsender strahlt über meist 4 Antennen straff gebündelte cm-Wellen symmetrisch zur Flugzeuglängsachse vorn und hinten schräg nach rechts und links zum Boden. Ein Teil der am Boden reflektierten Energie gelangt zum Flugzeug zurück. Er weist gegenüber den primären Wellen eine von der Geschwindigkeit des Flugzeugs über Grund abhängige Frequenzverschiebung auf. Diese wird im D. gemessen und als Geschwindigkeit über Grund angezeigt. Stimmen Kurs über Grund und Flugzeuglängsachse überein, so ist die Frequenzverschiebung bei den nach rechts gerichteten Funkstrahlen gleich. Bilden sie dagegen einen Winkel miteinander, d. h. erfährt das Flugzeug eine Abdrift, so entsteht ein Frequenzunterschied, aus dem der D. den Abdriftwinkel ermittelt und anzeigt. Ermittelte Geschwindigkeit über Grund und Abdriftwinkel werden zusammen mit anderen Daten, z. B. den Koordinaten des Start- und des Zielorts sowie dem Sollkurs, einem Flugwegrechner eingegeben. Dieser errechnet die zurückgelegte und die noch zurückzulegende Strecke sowie Abweichungen vom Sollkurs bzw. notwendige Korrekturen und zeigt sie an. Er kann auch mit dem Autopiloten gekoppelt werden und korrigiert dann den Kurs selbsttätig. Der D. arbeitet unabhängig von Funkortungssystemen am Boden und ist daher für Weitstreckenflüge über von solchen Systemen abgelegenen Gebieten (z. B. Polarregionen) geeignet. Die Genauigkeit liegt für Geschwindigkeitsmessungen bei 0,5 %, für die Ermittlung des Abdriftwinkels bei $\pm 0{,}25°$. Da sich Ungenauigkeiten mit der Länge der Flugstrecke summieren, müssen die vom D. und im Flugwegrechner ermittelten Angaben von Zeit zu Zeit mit Hilfe anderer Ortungsverfahren kontrolliert bzw. korrigiert werden.

Dopplerpeiler ↑ Peilanlage.

Dotierung ↑ Halbleiter.

Drahtfunk: Anfang der dreißiger Jahre eingeführte Übertragung von Rundfunkprogrammen über Drahtleitungen, meist das Fernsprechnetz, mit Methoden der ↑ Trägerfrequenztechnik, um die störungsfreie Aufnahme mehrerer Rundfunkprogramme zu ermöglichen. Die Programme wurden leistungsschwachen, mit dem Leitungsnetz gekoppelten Langwellensendern aufmoduliert, und die HF-Energie pflanzte sich längs der Leitungen fort. Die Empfänger waren über den Antennenanschluß und eine D.weiche, die die HF-Signale von den niederfrequenten Fernsprechsignalen trennte, mit dem Leitungsnetz verbunden und auf die Frequenz der D.sender abgestimmt. Meist konnte zwischen 2 und 4 Programmen gewählt werden.

D.netze sind noch in Betrieb, haben aber durch Einführung des störungsarmen UKW-Rundfunks erheblich an Bedeutung verloren. Daneben gibt

es dem D. ähnliche Anlagen, z. B. als interne Nachrichtenverbindung zwischen Einrichtungen der Energieversorgung (Lastverteilungszentrale, Kraftwerke, Umspannwerke u. a.). Vgl. Kabelfernsehen.

Drahtwickeltechnik [auch engl. Wire-wrap-Technik]: Verfahren zum Herstellen von Dauerverbindungen zwischen Bauelementen und Verbindungsleitungen. Die anzuschließenden und an den Enden abisolierten Drähte werden mit Hilfe eines Spezialwerkzeugs, der sog. Wickelpistole, unter hoher Zugspannung in mehreren Windungen um die kantig ausgeführten Anschlußstifte der Bauelemente gewickelt. „Angewickelte" Verbindungen sind zuverlässiger als Lötverbindungen und erfordern geringeren Arbeitsaufwand als diese.

Drain ↑ Transistor 2.

Drehkreuzstrahler ↑ Antenne.

Drop out [engl. to drop out, austropfen]: Stelle fehlender oder verminderter Aufzeichnung und infolgedessen mangelhafter Wiedergabe von Bild- oder Tonsignalen bei Speicherung bes. auf Magnetbändern, verursacht durch einen örtlich begrenzten Fehler im Aufzeichnungsmaterial.

Drossel: ↑ Spule mit oder ohne Kern, deren Induktivität genutzt wird, Wechselstrom einen großen Widerstand (bei meist gefordertem niedrigem Gleichstromwiderstand der D.) entgegenzusetzen. Wichtigster Kennwert einer D. ist ihre ↑ Induktivität, die je nach dem Frequenzbereich, für den die D. vorgesehen ist, zwischen Millihenry und Hunderten Henry betragen kann. Eine *HF-D.* soll hochfrequenten Wechselströmen den Weg über Leitungen verlegen. Sie wird z. B. angewendet, um das Ausdringen von HF-Strömen über die Speisespannungsleitungen eines Oszillators zu verhindern, um HF-Spannungen vom Eingang eines NF-Verstärkers fernzuhalten, um die Ausbreitung von HF-Störungen, die an elektrischen Geräten entstehen, über das Stromversorgungsnetz zu unterbinden. Induktiver Widerstand und Eigenkapazität der HF-D. bilden einen Schwingungskreis. Der Widerstand der D. steigt bis zu dessen Eigenfrequenz und sinkt dann wieder. I. allg. ist man daher bemüht, durch entspr. Konstruktion die Eigenfrequenz außerhalb des Frequenzbereichs der D. zu legen. Anderseits wird die Eigenfrequenz in *Resonanz-D.* zur bes. wirksamen Sperrung von Wechselströmen e i n e r Frequenz genutzt. HF-D. werden mit oder ohne Ferritkern ausgeführt. *NF-D.* werden z. B. zur Kopplung zwischen NF-Verstärkerstufen, vor allem aber als *Netz-D.* zur Siebung gleichgerichteten Netzwechselstroms (↑ Gleichrichter, Siebkette) und zur Strombegrenzung in Wechselstromkreisen (z. B. vor Bogen- und Gasentladungslampen) verwendet. Sie haben stets einen Kern, der zur Herabsetzung der Wirbelstromverluste aus geschichteten, gegeneinander isolierten Eisenblechen oder, bei D. für höhere Niederfrequenzen, aus Ferrit besteht. Da häufig, z. B. in Gleichrichtern, die D. zusätzlich von einem Gleichstrom durchflossen wird, können im Kern Sättigungserscheinungen auftreten und die Wirksamkeit der D. herabsetzen. Man bringt daher in solchen Fällen einen Luftspalt quer zur Feldlinienrichtung an, der den Sättigungserscheinungen entgegenwirkt. In *Impuls-D.* hingegen werden

die Sättigungserscheinungen ausgenutzt, um aus einer sinusförmigen Wechselspannung „spitze" Spannungsimpulse zu gewinnen.

D-Schicht ↑ Ionosphäre.

DTL und **DTLZ** ↑ Logiksystem.

Dual-in-line-Gehäuse ↑ integrierte Schaltung.

Dualsystem, *Binärsystem*: Zahlensystem, das zur Darstellung nur 2 Symbole benötigt. Das D. ist ein Positionssystem (Stellenwertsystem) mit der Basis 2 und den Ziffern „0" und „1", in dem zur Unterscheidung vom Dezimalsystem für letztere i. allg. „L" gesetzt wird. Für eine im D. geschriebene Zahl Z gilt:
$z = z_n \cdot 2^n + \ldots + z_1 \cdot 2^1 + z_0 \cdot 2^0 + z_{-1} \cdot 2^{-1} + \ldots + z_{-m} \cdot 2^{-m}$, worin die z_l nur die Werte „0" und „L" annehmen können. So wird z. B. $13 = 8 + 4 + (0) + 1$ im D.: $L \cdot 2^3 + L \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + L \cdot 2^0 = LL0L$. Für die Addition und Multiplikation im D. gelten die Regeln:

$L + 0 = L$, $0 + L = L$, $0 + 0 = 0$, $L + L = L0$, $L \cdot 0 = 0$, $L \cdot L = L$, $0 \cdot L = 0$, $0 \cdot 0 = 0$.

Das D. erlangte größte Bedeutung für die Elektronik, insbes. für die EDV, weil seine Zahlen und Rechenoperationen mit ihnen technisch mit Hilfe von Bauelementen dargestellt werden können, die nur 2 stabile Betriebszustände unterscheiden. Da diese i. allg. durch 2 elektrische Spannungszustände dargestellt werden, benutzt man statt der Dualziffern „0" und „L" die Bez. „L" [engl. low, niedrig], „H" [engl. high, hoch].

Duct-Ausbreitung ↑ Wellenausbreitung.

Dunkelschriftröhre, *Blauschriftröhre, Skiatron*: ↑ Oszillographenröhre, auf deren Bildschirm der Elektronenstrahl eine dunkle Spur auf hellem Grund hinterläßt, die bis zum Löschen (max. mehrere Tage) erhalten bleibt und nur bei äußerer Beleuchtung sichtbar ist. Der Bildschirm der D. besteht aus 3 Schichten: Einer dünnen Glimmerplatte ist auf der dem Strahlerzeugungssystem zugewandten Seite eine Kaliumchloridschicht aufgedampft. In ihr bilden sich an den Auftreffstellen der Elektronen „Farbzentren" und lassen die Spur des Elektronenstrahls sichtbar werden. Die andere Seite der Glimmerplatte trägt einen lichtdurchlässigen Metallfilm, der durch Stromzuführung von außen erwärmt werden kann und dadurch die Farbzentren löscht. Nach dem Abkühlen des Bildschirms (nach etwa 30 s) ist die D. erneut aufnahmebereit. D. werden zur Zielanzeige in der Radartechnik verwendet oder in Meßeinrichtungen, die (z. B. nur einmal ablaufende) Vorgänge eine lange Zeitspanne fixieren sollen. Die D. wird heute durch ↑ Speicherröhren ersetzt.

Dunkelstrom ↑ Fotozelle.

Dünnschichttechnik, *Dünnfilmtechnik*: Herstellungsverfahren der Mikroelektronik, dadurch gekennzeichnet, daß die passiven Bauelemente einer elektronischen Schaltung bzw. eines Bausteins mit den zugehörigen Verbindungsleitungen als Schichten (Filme) von <1 μm Dicke unlösbar auf gemeinsamem Trägermaterial (Substrat) von i. allg. $\leqq 1$ mm Dicke erzeugt werden. Die Substratfläche beträgt, je nach Schaltung und Anzahl

der Bauelemente, meist einige Quadratzentimeter. Das Substrat muß vor allem extrem geringe Oberflächenrauhigkeit, gutes Isoliervermögen, mechanische Festigkeit, gutes Adhäsionsvermögen gegenüber den Schichten, den annähernd gleichen Wärmeausdehnungskoeffizienten wie diese und gute Wärmeleitfähigkeit haben. Bewährt haben sich vorwiegend Gläser, häufig auch Keramik. Die Schichten werden durch Aufdampfen im Vakuum erzeugt. Für hochschmelzende Metalle, z. B. Tantal oder Wolfram, wird auch die *Katodenzerstäubung* angewendet: In einem mit Edelgas unter niederem Druck (z. B. 1,33 Pa [etwa 10^{-2} Torr]) gefüllten Gefäß wird das aufzutragende Material als Katode, das Substrat an einer Anode angebracht. Unter dem Einfluß einer Spannung von einigen Kilovolt zwischen Anode und Katode werden Ionen beschleunigt, prallen auf die Katode und bringen das Katodenmaterial zum Zerstäuben, das seinerseits durch Diffusion in Richtung Anode in Bewegung gesetzt wird und sich auf dem Substrat niederschlägt. Zur Gewinnung der geometrischen Struktur von Bauelementen und Verbindungsdrähten wird die Maskentechnik (vgl. Halbleiterbauelement) angewendet, oder sie wird mittels Elektronen- oder Laserstrahlen aus dem vorher mit den entspr. Schichten versehenen Substrat „gefräst".

Widerstände werden als Streifen (oft mäanderförmig) aufgebracht: Werkstoffe sind Metalle, Metallegierungen und -oxide oder metallkeramische Massen. Kondensatoren werden durch übereinanderliegende Schichten in der Folge Metall-Dielektrikum-Metall dargestellt, die zum Erzielen sehr großer Kapazität mitunter mehrfach wiederholt wird. Ist der „untere" Belag eine Tantal- oder Aluminiumschicht, so kann auf deren Oberfläche das Dielektrikum unmittelbar durch Oxydation hervorgerufen werden. Andere Dielektrika, z. B. Siliziumoxid oder -dioxid, werden aufgedampft oder durch Katodenzerstäubung aufgebracht. Kapazitäten bis zu mehreren 10^4 pF sind realisierbar. Spulen werden, soweit sie nicht durch entspr. Schaltungskonzeption vermeidbar sind, in Form von Spiralen aus leitendem Material dargestellt; es ist nur eine Induktivität von wenigen Mikrohenry erreichbar. Leiterbahnen werden z. B. aus Kupfer, Silber oder Gold aufgedampft und an notwendigen Kreuzungsstellen durch eine Isolierschicht getrennt. Die äußeren Anschlüsse bringt man durch Löten, Ultraschallschweißen oder Thermokompression an. Ihre Anordnung ist dem Raster ↑ gedruckter Schaltungen angepaßt. Aktive Bauelemente sind in D. noch nicht herzustellen und müssen daher nachträglich eingesetzt werden (vgl. Hybridtechnik). Die fertigen Schaltungen werden durch ein Plastgehäuse gegen äußere Einflüsse geschützt (z. B. flache Gehäuse mit an einer oder an beiden Längsseiten liegenden Anschlüssen). Im Mittel lassen sich auf 1 cm^2 Substratfläche mehrere 10 bis 100 Bauelemente unterbringen. Da die D., z. B. wegen der teuren Maskensätze, relativ kostenaufwendig ist, eignet sie sich bes. für Schaltungen, die in großer Stückzahl benötigt werden, z. B. für logische Schaltungen und für Schaltkreise der Datenverarbeitungstechnik. Im Vergleich zur ↑ Dickschichttechnik zeichnet

sich die D. durch größere Zuverlässigkeit, engere Toleranzen und größere Stabilität der elektrischen Parameter aus.

Duoplexverfahren ↑ Frequenzumtastung.

Duplexverkehr ↑ Sprechfunk.

Durchdrehsender ↑ Ionosphäre.

Durchgriff ↑ Elektronenröhre.

Durchkontaktieren ↑ gedruckte Schaltung.

Dynamik: Verhältnis zwischen max. und min. Amplitude in einem Frequenzgemisch, vor allem bei elektroakustischen Übertragungen. Die D. wird in ↑ Dezibel (dB) angegeben. Beispiele für die D. wichtiger Schallquellen bzw. elektroakustischer Geräte sind:

	D. in dB	$\frac{U_{max}}{U_{min}}$ bzw. $\frac{I_{max}}{I_{min}}$
gesprochener Text	23	14:1
Tanzmusik	30	32:1
Schallplatte	52	400:1
Sinfonieorchester	70	3200:1
Leistungs-NF-Verstärker	80	10000:1

In elektroakustischen Baugruppen, Geräten und Anlagen wird die mögliche D. einerseits durch die max. übertragbare Spannung, anderseits durch die bereits ohne Nutzsignal am Eingang vorhandene Fremdspannung (↑ Rauschen, ↑ Brummspannung) begrenzt. Daher kann die volle D. von Schallquellen häufig nicht übertragen, sondern muß durch ↑ Dynamikregelung verringert und evtl. am Ende der Übertragungsstrecke wieder erweitert werden.

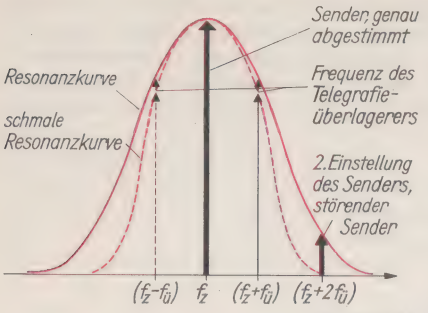
Dynamikregelung: von Hand einstellbare oder selbsttätige Veränderung der ↑ Dynamik bei elektroakustischen Übertragungen. Man unterscheidet:

1. *Dynamikkompression*, Verringerung der Dynamik, geschieht bei Musikübertragung (Rundfunk, Schallplatten-, Tonfilmaufnahmen) von Hand durch den Toningenieur oder -meister aufgrund der Partitur so, daß bei Fortissimostellen der Sender bzw. das Aufnahmegerät nicht übersteuert wird und daß Pianissimostellen gegenüber den stets vorhandenen Störgeräuschen hinreichend angehoben werden. Selbsttätige Dynamikkompression wird vor allem im Funkfernsprechverkehr angewendet, um trotz der bei Sprache sehr unterschiedlichen Amplitudenverhältnisse einen hohen mittleren Modulationsgrad des Senders ohne Gefahr einer Übersteuerung durch Amplitudenspitzen zu sichern. Neben Amplitudenbegrenzung durch ↑ Clipper(filter) werden Regelschaltungen angewendet, die ähnlich wie die ↑ Schwundregelung arbeiten: Aus der jeweiligen NF-Spannung wird durch Gleichrichtung eine Regelspannung abgeleitet und einer im Weg der NF-Signalspannung liegenden Verstärkerstufe so zugeleitet, daß diese bei geringen Amplituden einen großen, bei hohen Amplituden einen geringen Verstärkungsgrad hat.

2. *Dynamikexpansion*, Erweiterung der Dynamik, hat meist das Ziel, eine vorher erfolgte Dynamikkompression rückgängig zu machen. Die verwendeten Regelschaltungen ähneln denjenigen zur Dynamikkompression, jedoch wird die Regelspannung so zugeführt, daß der Verstärkungsgrad bei kleinen Amplituden sinkt und bei großen erhöht wird. Vgl. Dolby-System.

E

Ebikon und **Ebsikon** ↑ Bildaufnahmeröhre.
EB-Verfahren ↑ Einseitenbandverfahren.
Eccles-Jordan-Schaltung ↑ Multivibrator.
Echograph, -lot und **-meter** ↑ Ultraschallortung.
Echtzeitbetrieb, *Real-time-Betrieb* [engl. echte Zeit]: Betrieb einer EDVA in der Weise, daß zeitlich beliebig anfallende Daten (z. B. Meßwerte) unmittelbar verarbeitet und die Resultate sofort ausgegeben werden. E. wird z. B. in ↑ Prozeßrechnern, im militärischen Bereich, in der Raumfahrt oder beim Einsatz eines ↑ Analogierechenautomaten als Simulator angewendet. Bei mehreren Benutzern einer EDVA wird E. oft mit dem ↑ Zeitteilverfahren und mit ↑ Datenfernübertragung gekoppelt.
ECL ↑ Logiksystem.
ECO ↑ Oszillator.
Edelgasgleichrichter ↑ Diode 1.2.
Edison-Effekt ↑ Elektronenemission.
EDVA: Abk. für elektronische ↑ Datenverarbeitungsanlage.
EGS: Abk. für ↑ Einheitliches Gefäßsystem.
EHF ↑ Frequenzbereiche.
Eichelröhre ↑ Elektronenröhre.
Eidophorverfahren ↑ Fernsehprojektion.
Eigenfrequenz ↑ Schwingungskreis.
Eigenleitung ↑ Halbleiter.
Eigenpeilung ↑ Funkpeilung.
Ein(fach)zeichenempfang: Kunstgriff im ZF-Verstärker von Telegrafieempfängern zur Beseitigung von Mehrdeutigkeit der Abstimmung und zur Unterdrückung störender Sender bei Empfang nach Betriebsart *A 1*. Der ↑ Telegrafieüberlagerer des Empfängers ist gegenüber der Zwischenfrequenz f_z um einen festen Betrag $f_ü$, z. B. um 10^3 Hz, verstimmt. Ist der Empfänger exakt auf einen Sender abgestimmt, so wird im Empfangsgleichrichter eine Tonfrequenz von 10^3 Hz gebildet. Sie wird jedoch auch dann erzeugt, wenn durch ungenaues Abstimmen der Sender an der Stelle $(f_z + 2f_ü)$ der Resonanzkurve erscheint (Abb.). Ein an gleicher Stelle auftretender störender Sender ergibt ebenfalls einen 10^3-Hz-Ton. Beim E. wird die Bandbreite des ZF-Verstärkers so verringert, daß $(f_z + 2f_ü)$



Zum Prinzip des Ein(fach)-zeichenempfangs

außerhalb der Resonanzkurve liegt und somit die 2. Einstellung oder der Störsender unterdrückt wird. Da sich der gleiche Ton für die Frequenzen $(f_z + f_ü)$ und $(f_z - f_ü)$ des Telegrafieüberlagerers ergibt, kann man letzteren zwischen beiden Frequenzen umschalten und somit die Telegrafieüberlagerungsfrequenz wahlweise auf die jeweils weniger gestörte rechte oder linke Flanke der Resonanzkurve legen.

Einflugzeichensender und **-empfänger** ↑ Instrumentenlandesystem.

Eingabegeräte ↑ Peripheriegeräte.

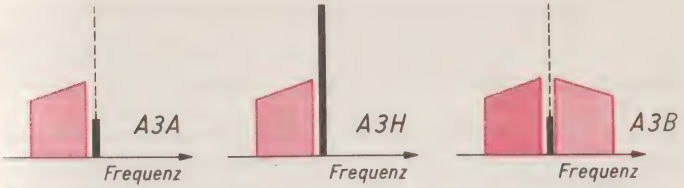
Eingangskapazität ↑ Elektronenröhre 3.

Einheitliches Gefäßsystem, Abk. *EGS*: in der DDR standardisiertes, in Übereinstimmung mit Vereinbarungen innerhalb des RGW entwickeltes System für den Aufbau und die Zusammenstellung elektrisch/elektronischer Geräte aus Karten, Einschüben, Gehäusen usw. EGS ist so gestaltet, daß sich Geräte, Anlagen usw. in ihren äußeren Maßen und Zusammensetzmöglichkeiten vielfältig und ohne unnötigen Raumaufwand für alle erforderlichen Aufgaben zusammenstellen lassen.

Einkreisempfänger ↑ Geradeausempfänger.

Einkristall: idealer, noch nicht realisierbarer Kristall, dessen Gitter in seiner gesamten Ausdehnung einen ungestörten Aufbau ohne mikroskopische Baufehler, wie Versetzungen oder Fehlordnungen, hat. In der Technik bez. man als E. einen Kristall, der höchste chemische Reinheit und keine makroskopischen Fehler, wie Risse oder Einschlüsse, aufweist. Für die Elektronik sind vor allem Halbleiter-E. wichtig. Man gewinnt sie durch *Kristallzüchtung*, z. B. indem man einen „Kristallisationskeim" unter genauestens einzuhaltenden physikalischen Bedingungen langsam aus einer Schmelze des zu kristallisierenden Materials zieht.

Einseitenbandverfahren, Abk. *EB-Verfahren* oder *SSB* [Abk. für engl. *S*ingle *S*ide*b*and Radio Communication]: Übertragungsverfahren der Funktechnik und der ↑ Trägerfrequenztechnik, ausgehend davon, daß bei Amplitudenmodulation alle zu übertragenden Informationen in *einem* Seitenband enthalten sind, das 2. und die Trägerfrequenz im Prinzip also entbehrt werden können (vgl. Modulation). Gebräuchliche Betriebsarten sind 1. Übertragung eines Seitenbands und des in der Leistung vermin-



Trägerfrequenz (*schwarz*) und Seitenbänder (*rot*) bei verschiedenen Einseitenbandverfahren

derten Trägers (*A 3 A*), 2. eines Seitenbands bei Unterdrückung des Trägers (*A 3 J*), 3. eines Seitenbands und des vollen Trägers (*A 3 H*) sowie 4. Übertragung zweier voneinander unabhängiger, mit verschiedenen Nachrichten belegter Seitenbänder und des verminderten Trägers (*A 3 B*, vgl. Funkbetriebsarten).

Im Sender moduliert man zunächst eine niedrige Trägerfrequenz (z. B. 200 kHz, dadurch einfachere Trennung der Seitenbänder) so, daß die Trägerfrequenz selbst am Ausgang des Modulators nicht auftritt. Nachgeschaltete Filter unterdrücken ein Seitenband. Die Sendefrequenz wird durch Mischung mit einer konstanten Hochfrequenz erreicht, die (entspr. vervielfachte) Trägerfrequenz bei Betriebsart *A 3 A* in erforderlicher Stärke wieder zugesetzt. Nach Durchlaufen des Senderverstärkers werden die HF-Signale über die Antenne ausgestrahlt.

Im Empfänger muß die Trägerfrequenz zur Demodulation wieder zugesetzt werden, wobei genaueste Übereinstimmung mit der Trägerfrequenz beim Sender erforderlich ist, da bei Telefonie schon Abweichungen von 10 Hz, bei Musik sogar von 1 Hz bemerkbar werden. Möglichkeiten hierfür sind Neugewinnung der Trägerfrequenz durch einen hochkonstanten HF-Oszillator im Empfänger, Steuerung eines HF-Oszillators durch einen vom Sender ausgestrahlten Pilotton oder durch Übertragung des verminderten Trägers (wegen des relativ geringen Aufwands auf der Empfängerseite am gebräuchlichsten).

Vorteile des E. gegenüber normalem Funkverkehr sind geringerer Bedarf an Frequenzbandbreite (Sendekanal halber Breite gegenüber Ausstrahlung beider Seitenbänder), höherer Wirkungsgrad des Senders (da die Leistung für ein Seitenband und die Trägerfrequenz eingespart bzw. reduziert werden), Verbesserung des Störabstands und Verminderung von Verzerrungen durch selektiven ↑ Schwund.

Das E. hat sich vor allem im Verkehr zwischen festen Funkstationen durchgesetzt, bes. als Betriebsart *A 3 B*. Dabei werden meistens gleichzeitig 4 oder 3 Telefongespräche, 2 Telefongespräche und mehrere Fernschreiben sowie auch Rundfunkprogramme für Zwecke des Programmaustauschs übertragen. Die Betriebsart *A 3 A* wird weitgehend auch im beweglichen Funkdienst, z. B. für Seefunkverkehr, angewendet. Beim ↑ Amateurfunk gewinnen E. rasch an Bedeutung.

Seit mehreren Jahren stimulieren die Vorzüge von E. und die Überfüllung der Hörfunk-Frequenzbänder im MW-, KW- und LW-Bereich Untersuchungen und Experimente, E. auch beim Hörfunk einzusetzen. Schwierigkeiten ergeben sich u. a., weil konventionelle Hörfunkgeräte keine Sendungen nach E. wiedergeben können (vorgeschlagene kompatible E. haben sich bisher als praktisch undurchführbar erwiesen), aus erhöhtem Empfängeraufwand und der Voraussetzung einer international zu vereinbarenden Neuverteilung der Senderkanäle. Hingegen wären E.-Hörfunkempfänger zur Aufnahme konventioneller Zweiseitenband-Sendungen geeignet, wobei überdies das jeweils weniger gestörte Seitenband zum Empfang gewählt werden könnte.
Von den für Hörfunk diskutierten E. erscheint das dem *A 3 B*-E. ähnelnde *ISB-Verfahren* [engl. *I*ndependent-*S*ide-*B*and-System, System mit unabhängigem Seitenband] für schrittweise Einführung von E. aussichtsreich. Der Sender strahlt eine Trägerfrequenz und in den Seitenbändern 2 voneinander unabhängige Hörfunkprogramme aus, wodurch sich (auch ohne Kanalneuverteilung) die Zahl der in einem gegebenen Frequenzbereich übertragbaren Programme verdoppeln würde.
Eine Variante der E. ist die beim ↑ Fernsehen gebräuchliche Restseitenbandmodulation.

Eisenverluste ↑ Transformator.

Elektroakustik: Teilgebiet der Elektronik und der technischen Akustik, in dem man sich mit der Umwandlung von Schall des Tonfrequenzbereichs (etwa 16 bis 16 000 Hz) in elektrische Schwingungen und umgekehrt sowie mit der Speicherung, Wiedergabe und Erzeugung von Schall beschäftigt. Der Umwandlung dienen Schallwandler, wie ↑ Mikrofon und ↑ Lautsprecher, der Speicherung z. B. Schallplatten und Magnetbänder, der Wiedergabe Funkempfänger, Magnetbandgeräte, Plattenspieler u. a., der Erzeugung z. B. ↑ Tonfrequenzgeneratoren.

Elektrode: Stück eines Leiters, das als Eintritts-, Austrittsstelle oder zur Steuerung bewegter elektrischer Ladungsträger in Vakuum- und Gasentladungsstrecken, Flüssigkeiten und Festkörpern dient, z. B. Katode, Anode und Gitter von Elektronenröhren.

Elektrodenkapazität ↑ Elektronenröhre.

Elektrometerröhre: Elektronenröhre (meist Triode) für Geräte zur Messung kleinster Gleichspannungen und -ströme (bis herunter zu 10^{-15} A). Eine zu messende Spannung wird zwischen Steuergitter und Katode angelegt und steuert den Anodenstrom. Zu messende Ströme rufen an einem zwischen Steuergitter und Katode geschalteten Widerstand eine Spannung hervor, die ihrerseits den Anodenstrom steuert. Die Empfindlichkeit von E. und damit die Genauigkeit von Messungen mit ihnen sind um so besser, je größer der Isolationswiderstand der Gitter-Katoden-Strecke der E. ist und je niedriger Gitterfehlströme, verursacht durch Isolationsmängel, Ionisierungserscheinungen, Fotoemission oder thermische Emission vom Gitter aus, gehalten werden. Dazu dienen Maßnahmen wie bes. hochwertige Isolierung der Gitterhalterung und des

-anschlusses, wenig zum Verdampfen neigende Katodenwerkstoffe, niedrige Anodenspannung und Schutz vor Lichteinfall. Anordnungen mit Feldeffekt-Transistoren haben die E. verdrängt.

Elektron, *Negatron*: stabiles Elementarteilchen mit der negativen Ladung von $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C (1 C = 1 As), mit der elektrischen Elementarladung (alle beobachteten elektrischen Ladungen sind ganzzahlige Vielfache dieser kleinsten Ladungsmenge) und mit der spezifischen Ladung $1{,}759 \cdot 10^{8}$ C/g. E.en bilden die Hülle der Atome und bestimmen deren chemisches Verhalten. Sie umkreisen den Atomkern auf Bahnen, deren Wechsel nur durch Energieaufnahme oder -abgabe möglich ist. Die E.en der äußeren Bahnen sind leicht von einem Atom abzutrennen. Als *Leitungs-E.en* ermöglichen sie den elektrischen Stromfluß durch Leiter und Halbleiter (vgl. Bändermodell, Elektronenleitung), als *freie E.en* (vgl. Elektronenemission) sind sie Grundlage der E.enröhren u. a. elektronischer Bauelemente. *Foto-E.en* nennt man E.en, die durch Fotoemission (↑ Elektronenemission) freigesetzt werden.

Das E. wurde im letzten Drittel des 19. Jh. bei der Untersuchung des Stromdurchgangs durch Gase und durch das Vakuum entdeckt. Seine Erforschung, zu der zahlreiche Forscher (u. a. *Johann Wilhelm Hittorf*, *Philipp Lenard*, *Julius Plücker*, *Joseph John Thomson*) beitrugen, führte zu weittragenden neuen physikalischen Erkenntnissen und war zugleich Ausgangspunkt der Elektronik.

Elektronenemission: Elektronenaustritt aus Festkörpern, insbes. aus Metallen, in ein angrenzendes Vakuum, Grundlage u. a. der ↑ Elektronenröhre, der ↑ Elektronenstrahlröhre, der ↑ Fotozelle und des ↑ Elektronenstrahlschmelzens. Zum Verlassen der Festkörperoberfläche ist von jedem Elektron mindestens die ↑ Austrittsarbeit aufzubringen. Nach der Art und Weise, wie die zum Austritt erforderliche Energie den Elektronen zugeführt wird, unterscheidet man:

1. *thermische Emission, Glühemission*: Elektronenaustritt aus der Oberfläche erhitzter (meist glühender) Festkörper. Die Glühemission wurde von dem amerikanischen Techniker *Thomas Alva Edison* entdeckt und bes. von dem britischen Physiker *Owen William Richardson* untersucht und wird oft auch als *Edison-Effekt* bez. – Die freien Elektronen im Inneren eines Festkörpers sind in ständiger ungeordneter Bewegung; ihre Geschwindigkeiten und kinetischen Energien verteilen sich um einen der Festkörpertemperatur entspr. Mittelwert. Bei Zimmertemperatur ist ihre kinetische Energie so gering, daß nur sehr wenige (die schnellsten) Elektronen die Austrittsarbeit aufbringen. Der Anteil dieser Elektronen erhöht sich, wenn die mittlere kinetische Energie der Elektronen durch Erhitzen des Festkörpers vergrößert wird. Der auf diese Weise aus einer Festkörperoberfläche bestimmter Größen austretende, technisch nutzbare *Emissionsstrom* hängt von der Temperatur des Materials und der aufzubringenden Austrittsarbeit ab. Er läßt sich nach einer von *Richardson* angegebenen Formel berechnen. Die thermische Emission aus Metallen ist die für die Technik wichtigste Art der E.

2. *Fotoemission*: Austritt von Elektronen, dann Fotoelektronen genannt, aus Festkörpern, wobei die Austrittsarbeit durch einfallende Lichtenergie aufgebracht wird (↑ lichtelektrischer Effekt). Die Fotoemission ist Grundlage elektronischer Bauelemente wie der Fotozelle, ↑ Bildaufnahmeröhre und ↑ Bildwandler(röhre).
3. *Sekundäremission*: E., hervorgerufen durch das Auftreffen primärer Elektronen oder auch von Ionen auf die Oberfläche von Festkörpern. Die Austrittsarbeit wird durch Energieaustausch zwischen den auftreffenden Primärteilchen und den freien Elektronen des getroffenen Materials aufgebracht. Die Anzahl der freigesetzten Sekundärelektronen und damit die Stärke der Sekundäremission hängen von Energie und Auftreffwinkel der Primärteilchen sowie von der Oberflächenbeschaffenheit des Materials ab. Das Verhältnis Sekundärelektronenzahl/Primärelektronenzahl, der *Ausbeutefaktor* der Sekundäremission, erreicht Werte von 10 : 1 und darüber. Sekundäremission ist oft, z. B. in Elektronenröhren, unerwünscht, wird aber andererseits, z. B. in ↑ Sekundärelektronenvervielfachern und Bildaufnahmeröhren, genutzt.
4. *Feldemission*: E. durch sehr hohe elektrische Feldstärken, z. B. an Spitzen einer Leiteroberfläche. Die Feldemission wird u. a. im Feld-↑ Elektronenmikroskop genutzt.
5. *Betastrahlung*: E. bei radioaktivem Zerfall und bei künstlichen Kernumwandlungen. Vgl. Katode.

Elektronenkanone ↑ Elektronenstrahlröhre.

Elektronenlaufzeit: Zeitspanne für den Weg eines Elektrons zwischen 2 Elektroden, insbes. in Elektronenröhren; sie wird bestimmt durch den Elektrodenabstand und durch die an den Elektroden anliegende Spannung. Die E. zählt nach Bruchteilen einer Mikrosekunde und kann daher bei den meisten Anwendungen der Elektronenröhren vernachlässigt werden. Sie macht sich jedoch bemerkbar, wenn sie der Schwingungsdauer zu verstärkender oder zu erzeugender Schwingungen nahekommt. Bei Elektronenröhren mit Dichtesteuerung führt sie mit zunehmender Frequenz zu wachsenden Phasenverschiebungen zwischen Strömen und Spannungen. Diese verschlechtern den Wirkungsgrad der Röhren und bringen sie schließlich zum Versagen. Anderseits ist die endliche E. Grundlage der im Höchstfrequenzbereich unentbehrlichen ↑ Laufzeitröhre.

Elektronenleitung: durch Leitungselektronen verursachte elektrische Leitfähigkeit (metallische Leitung, vgl. ↑ Bändermodell). Im Atomgitter des Metalls sind durch Wechselwirkungen zwischen den Atomen zahlreiche Elektronen der äußeren Elektronenhülle (etwa 1 Elektron/Atom) von ihrem Atom gelöst und bewegen sich frei und ungeordnet als „Elektronengas" im Metallgitter. Wird elektrische Spannung an das Metall gelegt, so erhalten die Bewegungen dieser Elektronen unter dem Einfluß des elektrischen Feldes die Vorzugsrichtung zum positiven Pol der Spannungsquelle. Sie transportieren als *Leitungselektronen* elektrische Ladung; es fließt Strom. Die Anzahl der Leitungselektronen im Volumen-

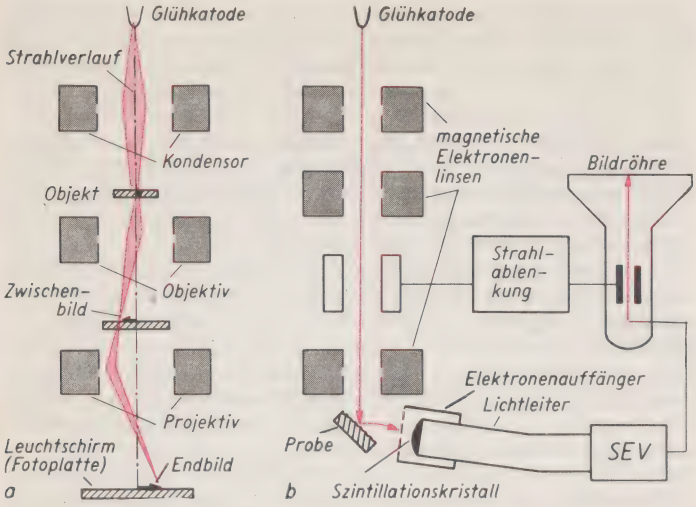
element bestimmt zusammen mit ihrer Beweglichkeit die elektrische Leitfähigkeit des Metalls. Diese nimmt mit steigender Temperatur ab, da die Leitungselektronen infolge der heftiger werdenden Schwingungen der Gitterbausteine immer häufiger mit diesen zusammenstoßen.

Elektronenlinse ↑ Elektronenoptik.

Elektronenmikroskop: Mikroskop, das auf den Gesetzen der ↑ Elektronenoptik beruht und als wichtigste Bauteile elektrostatische oder magnetische Elektronenlinsen (Abb. a) enthält. In einer langgestreckten, auch während des Betriebs der E. durch Pumpen weitgehend evakuierten Röhre emittiert eine *Glühkatode* Elektronen. Sie werden in einer als *Kondensor* dienenden Elektronenlinse konzentriert, durch eine Spannung von etwa 40 bis 150 kV beschleunigt und durchstrahlen das Objekt (Durchstrahlungs-E.), das durch eine *Objektschleuse* in die Röhre gebracht wird. Seiner Struktur entspr. (z. B. Abhängigkeit von Dichte und Dicke) absorbiert oder streut es einen Teil der Elektronen. Die scheinbar vom Objekt ausgehenden Elektronenstrahlen werden durch eine weitere Elektronenlinse, das *Objektiv*, so geführt, daß ein vergrößertes Zwischenbild des Objekts entsteht. Es kann auf einem aus dem Strahlengang ausschwenkbaren Leuchtschirm betrachtet werden. Ein Ausschnitt des Zwischenbilds wird anschließend durch das aus einer, meist aber mehreren Elektronenlinsen bestehende *Projektiv* weiter vergrößert. Das so entstehende Endbild kann auf einem Leuchtschirm durch eine nochmals vergrößernde Lichtoptik von mehreren Beobachtern gleichzeitig betrachtet oder mit Hilfe einer Fotoplatte bzw. eines Planfilms fotografiert werden. Bei zahlreichen E.en ist der Anschluß einer Film- oder Fernsehkamera möglich; außerdem lassen sich mehrere Vergrößerungsstufen einstellen.

Da die Beobachtung im nahezu luftleeren Raum erfolgt und das Durchdringungsvermögen auch schneller Elektronen verhältnismäßig gering ist, müssen alle im E. zu untersuchenden Präparate einer bes. Vorbehandlung unterzogen werden, z. B. sorgfältiger Trocknung, Unterteilung in dünnste Schichten, Erhöhung des Kontrasts durch schräges Bedampfen der Objekte mit Metall oder Herstellung eines Lackreliefs von für Elektronen „undurchsichtigen" Flächen durch Aufbringen eines Lackhäutchens, das nach dem Trocknen die Oberflächenstruktur „negativ" wiedergibt; es wird abgelöst und der so entstandene Abdruck beobachtet. Mit dem E. sind Vergrößerungen bis $V > 500\,000 : 1$ zu erreichen (demgegenüber UV-Mikroskop bis $V = 3\,000 : 1$).

Das *Emissionsmikroskop*, eine Variante des E., durchstrahlt das auf der Katode liegende Objekt nicht, sondern nutzt von diesem unmittelbar ausgehende (emittierte) Elektronen, die z. B. durch direktes oder indirektes Erhitzen (Untersuchung von Vorgängen an der Oberfläche von Glühkatoden), durch Beschuß des Objekts mit schnellen Teilchen (Ionen, Elektronen, Photonen), durch Röntgen- oder UV-Strahlung ausgelöst werden. Die Abbildung geschieht mit Hilfe einer elektrostatischen Immersionslinse, die Vergrößerung erreicht $V > 10\,000 : 1$.



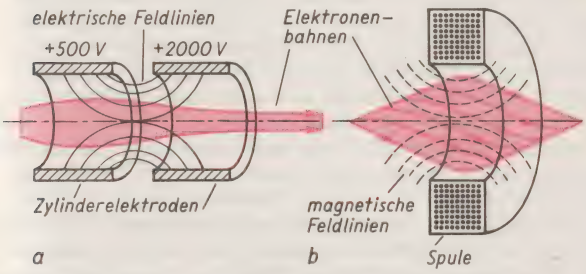
Strahlverlauf in einem Elektronenmikroskop mit magnetischen Elektrolinsen (*a*) und in einem Rastermikroskop für Oberflächenuntersuchungen (*b*), SEV = Sekundärelektronenvervielfacher

Im *Rastermikroskop* (*Raster-E.*, 1935 in Deutschland entwickelt, aber erst seit 1965 auf dem Markt) wird durch Elektronenlinsen ein sehr feiner Elektronenstrahl erzeugt und zeilenweise (daher die Bez.) über das hinter den Elektronenlinsen (in Strahlrichtung gesehen) angebrachte Objekt geführt. Die vom Objekt ausgehenden Sekundärelektronen und auch reflektierte Primärelektronen erregen einen Szintillationskristall, dessen Licht über einen Lichtleiter einem Sekundärelektronenvervielfacher zugeleitet wird (Abb. *b*). Sein Signal steuert die Leuchtfleckhelligkeit einer Elektronenstrahlröhre, deren Elektronenstrahl synchron mit dem das Objekt abtastenden Elektronenstrahl über den Bildschirm gelenkt wird. Auf dem Bildschirm entsteht so ein vergrößertes Bild der Objektoberfläche. Das Objekt braucht für Elektronen nicht durchlässig zu sein und kann auf einfache Weise verschoben und geschwenkt werden. Die Abbildungen zeichnen sich durch große Schärfentiefe aus. Vergrößerungen bis $V = 10^6$ werden erreicht. Bes. bei Werkstoffuntersuchungen – u. a. bei der Untersuchung von Vorgängen an der Oberfläche von Halbleitermaterialien –, aber auch im Bereich der Biologie, hat sich das Rastermikroskop bewährt.

Das *Feld-E.* hat keine Elektronenlinsen. Im Zentrum einer evakuierten Glaskugel ist als Katode eine feine Drahtspitze angebracht, die aus dem zu untersuchenden Material besteht oder mit einer sehr dünnen Schicht desselben bedeckt ist. Ein Teil der Kolbeninnenwand trägt eine Leucht-

stoffschicht, die gleichzeitig als Anode dient. Zwischen ihr und der Drahtspitze liegt eine Spannung von mehreren Kilovolt. Durch Feldemission (↑ Elektronenemission) werden Elektronen aus der Spitze emittiert, fliegen nahezu radial zur Leuchtstoffschicht und ergeben dort ein Bild des Emissionsvermögens der Katodenoberfläche, das Rückschlüsse auf die Struktur dieser Oberfläche gestattet. Eine Vergrößerung bis $V = 10^6$ ist möglich, wodurch der elektronenoptische Nachweis einzelner Atome gegeben ist. Eine Variante des Feld-E., das *Feldionenmikroskop*, arbeitet mit positiver Drahtspitze und negativer Leuchtstoffschicht; die Kugel enthält ein verdünntes Gas, z. B. Wasserstoff. An der Drahtspitze bilden sich positive Ionen, die zur Leuchtstoffschicht fliegen und die Oberfläche der Drahtspitze abbilden.

Elektronenoptik: Teilgebiet der Elektronik, das Analogien zwischen Gesetzen der geometrischen Optik und der Bewegung von Elektronen in elektrischen und magnetischen Feldern nutzt, um Elektronenstrahlen zu fokussieren, abzulenken und mit ihrer Hilfe Abbildungen zu gewinnen. Die Felder werden mit *Elektronenlinsen* erzeugt, in denen Elektronenstrahlen so geführt und fokussiert werden, daß von einem Punkt, z. B. einer Stelle einer Katodenoberfläche, ausgehende Elektronen sich nach Durchlaufen der Linse wieder in einem Punkt treffen. Da dies (mit gewissen Einschränkungen) für alle achsennahen Punkte einer Elektronen aussendenden Fläche gilt, erhält man „Elektronenbilder", die auch vergrößert oder verkleinert sein können.



Elektrostatische (a) und magnetische Elektronenlinse (*b*)

Elektrostatische Elektronenlinsen erzeugen elektrische Felder und bestehen aus hintereinander angeordneten, in der Mitte durchbohrten scheibenförmigen oder aus zylindrischen Elektroden. Je nach Anzahl und Anordnung der Elektroden sowie der Polarität und Größe der an ihnen liegenden Spannungen sind Sammel-, Zerstreuungslinsen und Kombinationen daraus konstruierbar. *Magnetische Elektronenlinsen* erzeugen magnetische Felder und bestehen aus einer Spule, die von Gleichstrom durchflossen wird, oder aus ringförmigen Dauermagneten. Da in magnetischen Linsen die Elektronen schraubenähnliche Bahnen um die Achse

beschreiben, ist das Elektronenbild gegenüber dem Ausgangsbild verdreht. Bewegen sich die Elektronen während ihres ganzen Weges im Feld einer langgestreckten magnetischen Linse, so wirkt diese als Sammellinse, die das Elektronenbild nur überträgt, aber weder vergrößert noch verkleinert (Anwendung als Fokussierspule z. B. in ↑ Bildaufnahmeröhren). Auch prismen- und spiegelähnlich wirkende elektronenoptische Anordnungen sind realisierbar. Die Gesetze der E. und Elektronenlinsen werden in ↑ Elektronenstrahlröhren, Bildaufnahmeröhren, ↑ Bildwandler(röhren), beim ↑ Elektronenstrahlschmelzen, in Teilchenbeschleunigern, ↑ Elektronenmikroskopen u. a. ausgenutzt.

Elektronenröhre: Bauelement der Elektronik, bestehend aus einem weitgehend evakuierten Glas-, Metall- oder Metall-Keramik-Gefäß, dem Kolben, in dem mit Hilfe mehrerer (mindestens 2) Elektroden ein Elektronenstrom gewonnen und (bei > 2 Elektroden) durch elektrische Spannungen nahezu trägheitslos gesteuert wird. Dieser Steuerungsmöglichkeit verdankt die E. ihre Bedeutung, z. B. zur Verstärkung und Erzeugung von Wechselspannungen und -strömen vom Nieder- bis zum Höchstfrequenzbereich. Bei der *Dichtesteuerung* beeinflussen Steuerelektroden (↑ Gitter) die Stärke (Dichte) des von der Katode ausgehenden Elektronenstroms (*Gittersteuerung*). Bei der ausschl. im Höchstfrequenzbereich angewendeten *Geschwindigkeitssteuerung* wird die Steuerwirkung durch Beschleunigen bzw. Abbremsen der Elektronen erreicht (↑ Laufzeitröhre).

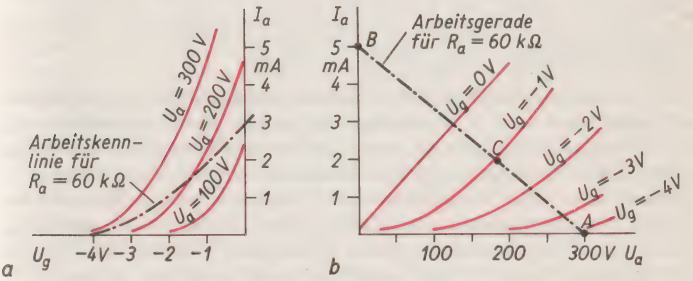
E. für Dichtesteuerung werden nach der Anzahl ihrer Elektroden bez.: eine E. mit 2 Elektroden (Katode und Anode) z. B. heißt ↑ *Diode* (1.), eine E. mit 3 Elektroden *Triode*, mit 5 Elektroden *Pentode* (s. u.) usw. Für E. mit Geschwindigkeitssteuerung gibt es kein einheitliches Bezeichnungsprinzip; ihre Namen richten sich nach Aufbau und Funktionsweise (Klystron, Wanderfeldröhre, Magnetron u. a.).

1. *Funktionsprinzip der E.*: Alle E. mit Dichtesteuerung sind aus der *Triode* ableitbar, einer E. mit direkt oder indirekt geheizter ↑ Katode, der ↑ Anode und dem zwischen diesen angeordneten Steuergitter (↑ Gitter). An Katode und Anode liegt die Anodenspannung U_a (Anode stets positiv gegen Katode), an Steuergitter und Katode die Gitterspannung U_g (Steuergitter meist negativ gegen Katode). Die von der Katode emittierten Elektronen werden bei negativem Steuergitter von der Anode aufgenommen und verursachen den außerhalb der Triode zwischen Katode und Anode fließenden Anodenstrom I_a. Änderungen von U_a oder U_g wirken sich nahezu trägheitslos auf die Dichte des durch die Triode fließenden Elektronenstroms und damit auf I_a aus. Dies gilt bes. für Änderungen von U_g, da das Steuergitter nahe der Katode liegt, während U_a nur mit einem vom Durchgriff (s. u.) abhängigen Anteil wirksam wird.

Wird zwischen Gitter und Katode eine Wechselspannung in Reihe mit einer Gittervorspannung gelegt (↑ Gitterspannung), dann werden die Dichte des Elektronenstroms zur Anode und damit I_a im Rhythmus der Wechselspannung am Gitter gesteuert. Weil das negative Gitter keine

Elektronen aufnimmt, erfolgt diese Steuerung leistungslos. Fließt I_a durch einen Außenwiderstand, so tritt an diesem eine Wechselspannung auf. Ihre Größe erreicht bei entspr. Wahl des Außenwiderstands und des Anodenwechselstroms ein Vielfaches der Wechselspannung zwischen Steuergitter und Katode; darauf beruht die verstärkende Wirkung der Triode sowie aller anderen E. mit Dichtesteuerung. Die Triode wird außer zur Verstärkung auch zur ↑ Mischung sowie in ↑ Oszillatoren und als ↑ Senderöhre eingesetzt.

2. *Röhrenkennlinien* stellen den Zusammenhang zwischen einer abhängigen und einer unabhängigen Betriebsgröße (meist zwischen Gleichspannung und -strom einer E. [oder einer ↑ Gasentladungsröhre]) grafisch dar, wobei alle übrigen Betriebsgrößen unverändert bleiben bzw. nur stufenweise verändert werden. Die für E. entscheidenden Zusammenhänge zwischen Gittergleichspannung U_g, Anodengleichstrom I_a und Anodengleichspannung U_a ergeben 2 Kennlinienscharen: die *Anodenstrom-Gitterspannungs-Kennlinien* (I_a-U_g-Kennlinien, Abb. a) für die Abhängigkeit des Anodenstroms von der Gitterspannung bei stufenweise



Elektronenröhre: I_a-U_g- (a) und I_a-U_a-Kennlinienfeld (*b*) einer Triode

veränderter Anodenspannung und die *Anodenstrom-Anodenspannungs-Kennlinien* (I_a-U_a-Kennlinien, Abb. *b*) für die Abhängigkeit des Anodenstroms von der -spannung bei stufenweise veränderter Gitterspannung. Beiden Kennlinienfeldern liegen die gleichen mathematischen Beziehungen zugrunde, lediglich die Parameter sind verschieden. Es werden meist *statische Kennlinien* aufgenommen, d. h. für einen Außenwiderstand $R_a = 0$ und mit konstanter Anodenspannung. Beim Einsatz der E. in elektronischen Schaltungen müssen der Außenwiderstand R_a und die an ihm auftretende Anodengleich- und -wechselspannung berücksichtigt werden. Im I_a-U_g-Kennlinienfeld treten an die Stelle der statischen Kennlinien *Arbeitskennlinien*. Sie gelten jeweils für einen bestimmten Wert von R_a, verlaufen flacher als die statischen Kennlinien (s. u. Steilheit) und lassen sich aus dem I_a-U_a-Kennlinienfeld konstruieren. Im I_a-U_a-Kennlinienfeld wird der Außenwiderstand durch Eintragen der Arbeitsgeraden berücksichtigt, die gleichfalls nur für einen bestimm-

ten Wert von R_a gilt. Ihr Verlauf wird folgendermaßen bestimmt: Für $I_a = 0$ liegt die Spannung der Anodenspannungsquelle in voller Höhe zwischen Anode und Katode (Punkt *A* in Abb. *b*). Für $U_a = 0$ tritt die gesamte Spannung der Anodenspannungsquelle an R_a auf, und durch diesen fließt ein nach dem Ohmschen Gesetz errechenbarer Anodenstrom I_a (Punkt *B* in Abb. *b*). Der ↑ Arbeitspunkt der E. ergibt sich als Schnittpunkt einer Kennlinie und der Arbeitsgeraden (z. B. für $U_g = -1$ V, Punkt *C* in Abb. *b*).

Die statischen Kennlinienfelder, die in Handbüchern und Sammlungen verfügbar sind, ermöglichen Aussagen über Betriebsweise, Verhalten und günstigste Betriebswerte einer E. Sie sind damit wichtige Hilfsmittel für Entwurf und Berechnung röhrenbestückter Schaltungen.

3. *Röhrenkennwerte* werden für den Arbeitspunkt und als geradlinig anzusehende Kennlinienstücke angegeben und lassen sich unter dieser Bedingung (vgl. Kleinsignalverstärkung) für die Schaltungsberechnung nutzen. Wenn U_g die Gitterspannung, U_a die Anodenspannung, I_a den Anodenstrom bedeuten, definiert man:

Steilheit $S = \Delta I_a/\Delta U_g$ bei $U_a = \text{konst.}$
(technischer) *Durchgriff* $D = \Delta U_g/\Delta U_a$ bei $I_a = \text{konst.}$
Innenwiderstand $R_i = \Delta U_a/\Delta I_a$ bei $U_g = \text{konst.}$

Die *Steilheit* kennzeichnet die Steuerwirkung der Gitterspannung U_g auf den Anodenstrom I_a, d. h., sie sagt aus, welche Anodenstromänderung durch eine gegebene Gitterspannungsänderung bewirkt wird bzw. welche Gitterspannungsänderung für eine bestimmte Anodenstromänderung erforderlich ist. Die Steilheit erreicht bei Trioden Werte bis 50 mA/V. Ihr Name rührt daher, daß sie sich im Anstieg der I_a-U_g-Kennlinie ausdrückt. Die bisher definierte Steilheit gilt nur für statische Röhrenkennlinien. Für $R_a > 0$ ist sie durch die Arbeitssteilheit S_A zu ersetzen:
$S_A = S/(1 + [R_a/R_i])$.

Der *Durchgriff* gibt an, wievielmal schwächer sich bei einer Triode eine Anodenspannungsänderung ΔU_a auf den Anodenstrom I_a auswirkt als eine Spannungsänderung ΔU_g zwischen Gitter und Katode. Der Durchgriff kennzeichnet also, in welchem Maße die Anodenspannung U_a durch die Lücken zwischen den Gitterdrähten „hindurchgreift".

Neben dem technischen Durchgriff D wird der elektrostatische Durchgriff $D_s = C_{ak}/C_{gk}$ angegeben, worin C_{ak} die Elektrodenkapazität (s. u.) zwischen Anode und Katode, C_{gk} die Elektrodenkapazität zwischen Gitter und Katode bedeuten. Für die meisten Anwendungen kann man $D \approx D_s$ setzen. Der Durchgriff wird in Prozenten angegeben und erreicht z. B. bei Trioden Werte von 1 bis 40 %.

Die Wirkung des Durchgriffs der Anode ist gering, wenn zwischen Steuergitter und Anode weitere Elektroden liegen. Man bezieht ihn dann auf andere Elektroden. So definiert man z. B. für Pentoden den *Schirmgitterdurchgriff* (Schirmgitter = Gitter 2) als $D_2 = \Delta U_{g1}/\Delta U_{g2}$ (wenn Spannungen und Ströme aller übrigen Elektroden = konst.), worin ΔU_{g1}

die Änderung der Spannung Gitter/Katode, ΔU_{g2} die Änderung der Spannung Schirmgitter/Katode bedeuten.

Der *Innenwiderstand* ist der Wechselstromwiderstand der Katoden-Anodenstrecke einer E. Er erreicht bei Trioden max. etwa 100 kΩ, bei Pentoden mehrere MΩ. Ein hoher Innenwiderstand ist bes. für HF-Verstärker erwünscht, weil er nur eine geringe Dämpfung eines in den Anodenkreis der E. geschalteten Schwingungskreises verursacht.

Die Röhrenkennwerte lassen sich grafisch aus den Röhrenkennlinien ermitteln. Sie sind, bezogen auf einen Kennlinienpunkt, durch die ↑ Barkhausensche Röhrenformel miteinander verknüpft. Die in Röhrentabellen usw. verzeichneten Röhrenkennwerte beziehen sich auf einen für den Betrieb der Röhre empfohlenen ↑ Arbeitspunkt.

Anstelle des Durchgriffs wird häufig der *Verstärkungsfaktor* μ benutzt. Er ist definiert durch $\mu = \Delta U_a / \Delta U_g$ bei I_a = konst. Der Verstärkungsfaktor ist also gleich dem Kehrwert des technischen Durchgriffs und gibt die max. erreichbare Spannungsverstärkung einer E. (bei $R_a = \infty$) an.

Durch Wahl eines möglichst großen Außenwiderstands kann man sich im Betrieb der E. dem Verstärkungsfaktor nähern, der bei Trioden Werte um 100, bei Pentoden bis 5000 erreicht.

Elektrodenkapazität ist die Kapazität einer Elektrode gegenüber einer oder mehreren anderen Elektroden, Elektrodenzuleitungen und Metallteilen einer E. Für die Schaltungstechnik haben vor allem die Eingangs-, die Ausgangs- und die Gitter-Anoden-Kapazität Bedeutung. Unter *Eingangskapazität* versteht man die Summe der Teilkapazitäten zwischen dem Steuergitter und allen Elektroden, an denen im Betrieb keine Wechselspannung der Eingangsfrequenz gegenüber der Katode liegt, die *Ausgangskapazität* ist die Summe der Teilkapazitäten zwischen der Anode und allen Elektroden, an denen im Betrieb gegenüber der Katode keine Wechselspannung der Eingangsfrequenz auftritt. Die *Gitter-Anoden-Kapazität* tritt zwischen Steuergitter und Anode einer E. auf. Während diese eine ↑ Rückkopplung vom Ausgang auf den Eingang einer Röhrenstufe bewirkt, was zur Selbsterregung führen kann (vgl. Oszillator), sind Ein- und Ausgangskapazität Nebenschlüsse im Signalweg und vermindern mit steigender Frequenz die Verstärkung einer Verstärkerstufe.

4. *Mehrgitter-E.* werden bzw. wurden mit bis zu 7 Gittern produziert. Obwohl die Triode z. B. wegen ihres geringen ↑ Rauschens für den Einsatz im Höchstfrequenzgebiet geeignet ist, wurde sie für niedrigere Frequenzen wegen ihres geringen Innenwiderstandes, hohen Durchgriffs und relativ großer Gitter-Anoden-Kapazität (bis zu mehreren pF) weitestgehend durch Mehrgitterröhren abgelöst.

Die *Tetrode* (*Schirmgitterröhre*) enthält als 4. Elektrode zwischen Steuergitter und Anode ein Schirmgitter. Durchgriff und Gitter-Anoden-Kapazität sinken, die Verstärkung gegenüber einer Triode steigt. Das Schirmgitter wird an eine gegenüber der Katode positive Gleichspannung gelegt, die meist niedriger als die Anodenspannung ist. Bei der Verstärkung kann die Anodenspannung kurzzeitig niedriger werden als die

Schirmgitterspannung. In diesem Fall führen von der Anode zum Schirmgitter fliegende Sekundärelektronen zu unstabilem Arbeiten der E. Tetroden werden nur noch selten, u. a. als ↑ Senderöhren, eingesetzt.
Die *Pentode* enthält außer Katode, Anode, Steuer- und Schirmgitter als 5. Elektrode das zwischen Schirmgitter und Anode angebrachte, im Betrieb mit der Katode verbundene und gegenüber der Anode negative *Bremsgitter*. Die aus der Katode austretenden Elektronen werden beim Passieren des Bremsgitters wegen ihrer hohen Geschwindigkeit kaum behindert; die der Anode und evtl. dem Schirmgitter entstammenden langsamen Sekundärelektronen (s. o.) stößt es zurück, so daß sie das Schirmgitter bzw. die Anode nicht erreichen.
Schirm- und Bremsgitter einer Pentode bewirken, daß die Anodenspannung den -strom in einem weiten Bereich der I_a-U_a-Kennlinie nur sehr wenig beeinflußt. Daraus folgen sehr geringer Durchgriff der Anode (d. h. hoher Verstärkungsfaktor bis mehrere Tausend) und ein Innenwiderstand, der den einer Triode bis zum 500fachen übertrifft. Für Pentoden kann man bei vielen Berechnungen Steilheit (S) und Arbeitssteilheit gleichsetzen. Für die Spannungsverstärkung V einer Pentodenstufe mit dem Außenwiderstand R_a folgt daraus: $V = S \cdot R_a$. Pentoden sind die am meisten verbreitete Art von E. Sie werden als HF-Pentoden (z. B. EF 184) für HF-Verstärker, Breitbandverstärker und Mischstufen, als NF-Pentoden (oft in klingarmer Ausführung, vgl. Mikrofonie) und als Endpentoden ausgeführt (z. B. EL 95), die bei geringer Steuerwechselspannung eine hohe Ausgangsleistung abgeben. Auch als Senderöhren für geringe Leistung werden sie eingesetzt. Für die ↑ Schwundregelung wurden Regelpentoden (z. B. EF 183) entwickelt. Ihre I_a-U_g-Kennlinie verläuft aufgrund einer bes. Gitterkonstruktion in einem weiten Bereich gekrümmt. Die Steilheit ist bei hoher Gittervorspannung gering, bei geringer Gittervorspannung hoch. Die Spannungsverstärkung einer mit einer Regelpentode bestückten Verstärkerstufe hängt daher von der Gittervorspannung ab. Wird hierfür eine Regelspannung angelegt, so gleicht diese durch wechselnde Übertragungsbedingungen hervorgerufene Lautstärkeschwankungen weitgehend selbsttätig aus, indem sie bei geringer Lautstärke eines empfangenen Senders niedrig, bei großer dagegen hoch wird.
Die *Hexode* mit den 6 Elektroden Katode, Anode, 2 Steuer- und 2 Schirmgittern ist eine *Doppelsteuerröhre*. Ihr Elektronenstrom unterliegt nacheinander dem Einfluß der beiden Steuergitter, die durch eines der Schirmgitter getrennt sind. Hexoden wurden für Verstärkerstufen mit automatischer ↑ Lautstärkeregelung und für ↑ Misch-und-Oszillator-Stufen entwickelt, werden jedoch kaum noch verwendet.
Gleiches gilt für die aus der Hexode entwickelte *Heptode*, die als 7. Elektrode ein Bremsgitter zwischen dem 2. Schirmgitter und der Anode enthielt. Die Heptode wurde bes. zur ↑ Mischung und auch in ↑ Amplitudensieben eingesetzt.
In der für ↑ Misch-und-Oszillator-Stufen entwickelten *Oktode* passiert

der Elektronenstrom nacheinander 2 Elektrodengruppen. Die 1., aus Katode, 1. Steuergitter und einer Hilfsanode bestehend, arbeitet als Triodensystem zur Erzeugung der Oszillatorspannung. Die 2., bestehend aus 2 Schirmgittern, dem 2. Steuergitter zur Zuführung der Eingangsspannung, einem Bremsgitter und der Anode, wird von dem mit der Frequenz der Oszillatorspannung schwankenden Elektronenstrom durchflossen und übernimmt die Mischung. Die Oktode hat heute keine Bedeutung mehr.

Die *Enneode* (nicht mehr produziert) war eine zur ↑ Demodulation und als Begrenzer frequenzmodulierter Signale dienende E. mit 9 Elektroden (7 Gitter).

5. *Die Unterscheidung von E. nach Verwendungszweck oder konstruktiven Merkmalen* ist nicht so eindeutig und wird nicht so einheitlich gehandhabt wie die nach der Elektrodenzahl. So bez. man als *Mischröhre* in einer Schaltung jede zur ↑ Mischung benutzte E., während man unter Mischröhren i. e. S. Mehrgitter- oder Verbundröhren (s. u.) versteht, die speziell für die Misch-und-Oszillator-Stufe von Überlagerungsempfängern entwickelt wurden (Heptode, Oktode, Triode-Heptode). *Abstimmanzeigeröhren* dienen der optischen ↑ Abstimmanzeige, ↑ *Senderöhren* sind speziell für Einsatz in Sendern oder in Verstärkern hoher Leistung konstruiert. Weniger eindeutig sind die gebräuchlichen Bez. Empfänger- und Verstärkerröhre. So wurden Empfängerröhren, d. h. E. mit Anodenverlustleistungen $\leqq 25$ W, zwar für Empfänger entwickelt und vorwiegend in diesen eingesetzt, man findet sie aber auch in anderen elektronischen Geräten; *Verstärkerröhren* werden nicht nur zur Verstärkung, sondern auch zur Schwingungserzeugung u. a. Zwecken benutzt.

Verbundröhren sind E., in deren Kolben mehrere Röhrensysteme vereinigt sind. Üblich sind z. B. die Kombinationen Diode-Pentode, Triode-Heptode, Triode-Triode.

Spezialverstärkerröhren (nach dem speziellen Verwendungszweck auch als *Langlebensdauer-* oder *Weitverkehrsröhre* bez.) sind E. hoher Lebensdauer, bes. Zuverlässigkeit, mechanischer Stabilität und Klimafestigkeit sowie sehr enger Toleranzen in den elektrischen Parametern, die in Anlagen des Nachrichtenweitverkehrs und der industriellen Elektronik, für Richtfunkstrecken und Sonderzwecke verwendet werden. Während für normale E. bis 10^3 Betriebsstunden als Lebensdauer garantiert werden, sind Spezialverstärkerröhren für 10^4, in Sonderfällen (z. B. für Unterwasserverstärker) sogar für 10^5 Betriebsstunden ausgelegt. Diese hohe Lebensdauer wird vor allem durch Maßnahmen erreicht, die eine lange und dabei gleichmäßige Emissionsfähigkeit der Katode sichern; Verwendung von Reinstmetall für das Katodenröhrchen, um die Bildung einer die Emission beeinträchtigenden (weil schlecht leitenden) Zwischenschicht zu verhindern, sorgfältigste Auswahl und Entgasung der Röhrenteile, niedrige Katodentemperatur und geringe Erhitzung der Röhrenteile, um ein „Vergiften" der Katodenoberfläche durch Fremdstoffe zu vermeiden, sowie möglichst stabile Ausführung der Elektroden

und -halterungen zum Erreichen hoher Stoß-, Schwingungs- und Rüttelfestigkeit.

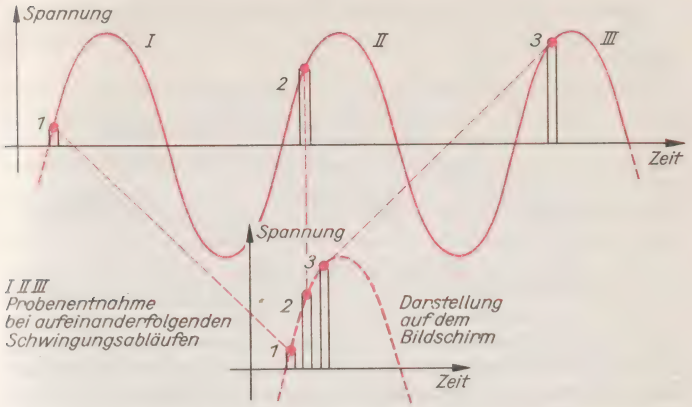
Miniaturröhren sind völlig aus Glas hergestellte E. geringer Abmessungen. Der gläserne Scheibenfuß (auch *Preßteller* genannt) trägt das Elektrodensystem sowie 7, 9 oder 10 Sockelstifte und wird nach der Montage mit dem Röhrenkolben verschmolzen, der dann durch einen am oberen Ende befindlichen Pumpstutzen evakuiert wird. Miniaturröhren, überwiegend als *Spanngitterröhren* (↑ Gitter) ausgeführt, sind die gegenwärtig am meisten produzierten E., da sie günstige Lösungen hinsichtlich elektrischer Daten, äußerer Abmessungen und moderner Produktionsverfahren bieten. Sie sind u. a. in allen röhrenbestückten Geräten der Konsumgüterelektronik (Hörfunk- und Fernsehempfänger, Magnetbandgeräte u. a.) zu finden, werden jedoch in zunehmendem Maße durch Halbleiterbauelemente ersetzt.

Bez. wie *Eichelröhre, Leuchtturmröhre,* ↑ *Scheibentriode* für spezielle Höchstfrequenz-E. mit Dichtesteuerung leiten sich von der äußeren Form bzw. der Gestaltung der Elektroden ab.

Geschichtliches. 1904 entwickelte der Brite *John Ambrose Fleming* eine Diode zur Empfangsgleichrichtung. 1906 entstand das „Katodenstrahlrelais" des Österreichers *Robert von Lieben*, in dem der Elektronenstrom zwischen Katode und Anode durch ein äußeres Magnetfeld gesteuert werden sollte; die Versuche damit blieben jedoch erfolglos; 1907 fügte der Amerikaner *Lee de Forest* ein Gitter in die Diode ein. 1910/11 führte *von Lieben* das Gitter für Verstärkerzwecke ein. Damit war die verstärkende E. erfunden, deren Kolben zunächst allerdings noch mit Gas unter niedrigem Druck gefüllt und nicht evakuiert war. Die Produktion von Hochvakuum-E. in großen Stückzahlen begann 1913.

Elektronenstrahlofen ↑ Elektronenstrahlschmelzen.

Elektronenstrahloszillograph: mit einer ↑ Oszillographenröhre ausgerüstetes Gerät zur optischen Beobachtung und Ausmessung schnell ablaufender, sich periodisch wiederholender oder einmaliger, auch innerhalb kürzester Zeitspannen stattfindender elektrischer Vorgänge bzw. auch solcher Vorgänge (z. B. mechanische), aus denen sich elektrische Spannungen oder Ströme ableiten lassen. Mit einer Kippschaltung, deren sägezahnförmige Ausgangsspannung (Kippspannung) an den Platten für die waagerechte Strahlablenkung (*X*-Platten) der Oszillographenröhre liegt, wird der Elektronenstrahl zeitlinear in horizontaler Richtung über den Bildschirm geführt und springt jeweils vom Zeilenende zum nächsten Durchlauf an den Zeilenanfang zurück. Die Frequenz der Kippspannung und damit die Zeitdauer für das Schreiben einer Zeile ist in weiten Bereichen wählbar, um sie dem Zeitablauf des zu untersuchenden Vorgangs anpassen zu können, und wird häufig mit diesem synchronisiert. Die Spannung des zu untersuchenden Vorgangs (Meßspannung) wird, oft nach Verstärkung im E., an die Platten für die senkrechte Strahlablenkung (*Y*-Platten) gelegt. Durch das Zusammenwirken von Kipp- und Meßspannung wird bei geeigneter Einstellung der Kippfrequenz und der



Elektronenstrahloszillograph: Zur Bildentstehung beim Abtastoszillographen

Verstärkung für die Meßspannung der zu untersuchende Vorgang auf dem Bildschirm der Oszillographenröhre zweidimensional und „stehend" abgebildet.

Zur gleichzeitigen Untersuchung mehrerer Vorgänge werden die Meßspannungen mit Hilfe einer zusätzlichen elektronischen Schalteinrichtung in schneller Folge ($\approx 10^5$ Umschaltungen/s) abwechselnd an die *Y*-Ablenkplatten gelegt; das Auge sieht dann gleichzeitig mehrere Oszillogramme. Häufig werden für diesen Zweck auch Mehrstrahlröhren eingesetzt.

↑ Speicherröhren finden in E.en ebenfalls Anwendung. E.en mit modernen Breitbandmeßverstärkern können Schwingungen mit Frequenzen > 100 MHz darstellen. Für periodische Vorgänge mit darüberliegenden Frequenzen wurden *Abtast-* oder *Sampling-Oszillographen* [engl. to sample, eine Probe entnehmen] entwickelt. Ihr Prinzip ist, nicht jeden Ablauf eines periodischen Vorgangs im ganzen darzustellen, sondern jedem Ablauf nur eine „Probe" zu entnehmen und diese aufzuzeichnen. Die Zyklen der Probenentnahme werden geringfügig gegeneinander verschoben (Abb.). Ihre Zusammensetzung ergibt auf dem Bildschirm als Punktfolge das Bild der abgetasteten Schwingung. Auf diese Weise sind periodische Vorgänge mit Frequenzen bis 14 GHz darstellbar.

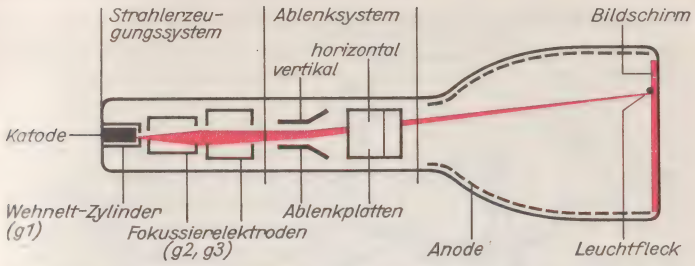
Der E. hat weite Verbreitung in der Meßtechnik gefunden, z. B. zur Beobachtung des Verlaufs und der Form elektrischer Schwingungen, zur Aufzeichnung von Resonanzkurven oder Kennlinien, bei der Untersuchung von Schwingungen an Maschinen und -teilen sowie Bauwerken, zur Aufnahme von Körperfunktionswerten in der Medizin u. a. E.en enthalten oft auch eine Einrichtung zur Registrierung der Schirmbilder.

Elektronenstrahlröhre, *Katodenstrahlröhre, Braunsche Röhre*: weitgehend evakuiertes Gefäß (meist Glaskolben), in dem mindestens ein

Elektronenstrahl erzeugt und mit Hilfe elektrischer oder magnetischer Felder so geführt wird, daß seine Spitze Signale auf einem Bildschirm darstellen kann.

Im *Strahlerzeugungssystem* (auch *Elektronenkanone* genannt) werden Elektronen von einer indirekt geheizten ↑ Katode emittiert. Die Emission – und damit die Helligkeit des Leuchtflecks auf dem Bildschirm – wird von einem *Wehnelt-Zylinder* gesteuert, der von dem deutschen Physiker *Arthur Rudolf Berthold Wehnelt* eingeführt wurde. Er entspricht im Funktionsprinzip dem Steuergitter von Elektronenröhren (in Röhrentabellen, Schaltbildern u. ä. wird er deshalb häufig mit „*g* 1" bez.) und greift als „Töpfchen" mit durchbohrtem Boden über die Katode. Je nach der Spannung zwischen ihm und der Katode wird der Elektronendurchtritt mehr oder weniger behindert. Die Fokussierung des aus dem Wehnelt-Zylinder tretenden Elektronenbündels zu einem Elektronenstrahl übernehmen elektrische oder magnetische Linsen (vgl. Elektronenoptik). Bei *elektrostatischer Fokussierung* sind mehrere zylindrische und mit Blenden versehene *Fokussierelektroden* in Richtung der Röhrenachse hintereinander angeordnet. Sie haben gegenüber der Katode verschiedene positive Spannungen, beschleunigen die Elektronen (daher sind auch die Bez. *Beschleunigungs-* oder *Hilfsanoden* üblich bzw. in Anlehnung an Elektronenröhren, „*g* 2", „*g* 3") und lenken sie zur Röhrenachse. Die Anode der E. ist meist als Graphitbelag auf der Innenwand des konischen Kolbenteils angebracht. Ihre (positive) Spannung gegenüber der Katode liegt, je nach Röhrentyp und Verwendungszweck, zwischen mehreren 100 V und etwa 30 kV. Häufig ist die Anode mit der letzten Fokussierelektrode verbunden. Bei *magnetischer Fokussierung* treten an die Stelle der elektrischen magnetische Felder von den Kolbenhals umgebenden stromdurchflossenen Spulen oder ringförmigen Dauermagneten.

Nach der Fokussierung passiert der Elektronenstrahl das *Ablenksystem*. Mit seiner Hilfe kann der Leuchtfleck mit hoher Geschwindigkeit an jede Stelle des Bildschirms geführt werden. Die Strahlablenkung beruht gleichfalls darauf, daß bewegte Elektronen von elektrischen und magnetischen Feldern aus ihrer urspr. Bahn gelenkt werden. Treten sie senkrecht zu den Feldlinien in ein homogenes elektrisches Feld, so beschreiben sie ein Stück eines Parabelbogens; im homogenen Magnetfeld durchlaufen sie ein Kreisbogenstück. Der Betrag der Ablenkung hängt u. a. von der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke ab. In E. mit *elektrostatischer Ablenkung* sind im Kolben 2 gegeneinander um 90° versetzte Ablenkplatten-Paare untergebracht. Je nach den Ablenkspannungen an diesen Platten wird der Elektronenstrahl von einem Plattenpaar horizontal, vom anderen vertikal ausgelenkt. Durch Kombination von 2 Ablenkspannungen kann der Elektronenstrahl also auf jeden Punkt des Bildschirms geführt werden. Die Ablenkung geschieht leistungs- und nahezu trägheitslos, so daß der Leuchtfleck auch schnellsten Änderungen der Ablenkspannungen folgt. In E. mit *elektromagnetischer Ablenkung* umgeben 2 ebenfalls um 90° gegeneinander versetzte Ablenkspulen-Paare



Aufbau einer Elektronenstrahlröhre mit elektrostatischer Fokussierung und Ablenkung (z. B. Oszillographenröhre)

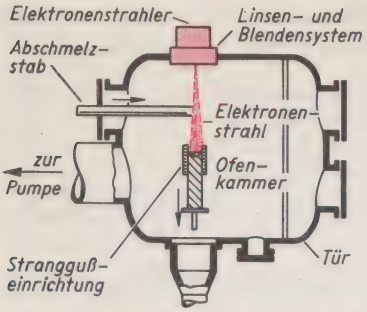
den Kolben; da sie stromdurchflossen sind, ist elektrische Leistung erforderlich. Der Betrag der Ablenkung hängt hier von den Ablenkströmen ab. Der Kolben wird am Vorderende durch den ↑ Bildschirm abgeschlossen.

Die verbreitetste Ausführungsart der E. ist die ↑ Bildröhre für Fernsehempfänger. Als ↑ Oszillographenröhre ist die E. zu einem unentbehrlichen Hilfsmittel der Meßtechnik geworden (vgl. Elektronenstrahloszillograph, Dunkelschriftröhre, Speicherröhre); in der Radartechnik dient sie zur Zielanzeige.

In den Typenbez. für in der DDR produzierte E. bedeuten:
B + Zahl = Bildschirmröhre mit *B*ildschirmdurchmesser in cm (bei rechteckigem Bildschirm in der Diagonale gemessen);
S = elektro*s*tatische Fokussierung und Ablenkung;
M = elektro*m*agnetische Fokussierung und Ablenkung;
G = „gemischt", statische Fokussierung und magnetische Ablenkung;
P = *P*olarkoordinatenröhre;
die folgende Zahl = Modell-Nummer.

Geschichtliches. Die E. wurde um die Jahrhundertwende von dem deutschen Physiker *Karl-Ferdinand Braun* erfunden, wenige Jahre später mit einer Oxidkatode und einem Wehnelt-Zylinder ausgestattet. Man versuchte zunächst, sie zur Sichtbarmachung schnell ablaufender Schwingungsvorgänge (vgl. Oszillographenröhre) zu benutzen, setzte sie aber bereits im ersten Jahrzehnt unseres Jh. für Experimente zur elektrischen Bildübertragung ein (*Boris L. Rosing*, 1907 Patent auf Fernsehgerät mit E.). Erst in den zwanziger Jahren war die Entwicklung (Strahlfokussierung, Helligkeit des Leuchtflecks) soweit vorangeschritten, daß der Einsatz – zunächst für Meßzwecke – Sinn hatte.

Elektronenstrahlschmelzen: Schmelzverfahren der Vakuummetallurgie, bei dem die erforderliche Wärme durch Aufprall eines mit Mitteln der ↑ Elektronenoptik erzeugten, energiereichen Elektronenstrahls auf das Schmelzgut entwickelt wird (Strahlspannung > 100 kV; Energieflußdichte max. 10^8 W/cm^2). Elektronenquelle, -strahl und Schmelzgut befinden sich in einer Vakuumkammer des *Elektronenstrahlofens*, die mit ständig ar-



Elektronenstrahlofen

beitenden Vakuumpumpen verbunden ist. Aufgrund der sehr hohen Temperatur und des Vakuums (bis $1{,}3 \cdot 10^{-3}$ Pa [$\approx 10^{-5}$ Torr]) entweichen Gasteilchen und Fremdstoffe aus dem Schmelzgut; Verunreinigungen durch äußere Einflüsse sind während des Schmelzprozesses ausgeschlossen. Das E. wird zum Erschmelzen sehr reiner Metalle und Edelstähle, zur Herstellung von Legierungen u. a. eingesetzt.

Ein bes. hoher Reinheitsgrad ist im *Elektronenstrahl-Mehrkammerofen* (Abk. EMO) zu erreichen, dessen Elektronenstrahl das Schmelzgut erst nach Passieren einer Zwischenkammer und nochmaliger Fokussierung erreicht und daher in seinem Verlauf durch Gasreste aus dem Schmelzgut nicht verformt werden kann.

Elektronenstrom: elektrischer Strom, der ausschl. bewegte Elektronen als Ladungsträger aufweist.

Elektronenvolt, Abk. eV: in der Physik benutzte Maßeinheit für die Zunahme an kinetischer Energie, die ein Elektron beim Durchlaufen einer Spannung von 1 V im Vakuum erfährt. $1\ \text{eV} = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ Ws.

Elektronenwellenröhre ↑ Wanderfeldröhre.

Elektronik: urspr. Erforschung und Anwendung der Gesetzmäßigkeiten der Elektronenbewegung und -steuerung im Vakuum und in Gasen (Vakuum-E.). Ausgehend von den zunächst durch die Elektronenröhre bedingten Fortschritten der Nachrichtentechnik hat sich die E. zu einer Disziplin von vorrangiger Bedeutung für die wissenschaftlich-technische Revolution entwickelt. Heute wird mit dem Begriff E. ein Zweig der Wissenschaft und Technik gekennzeichnet, der sich mit physikalischen Vorgängen und technischen Anwendungen der Elektrizitätsleitung im Vakuum, in Gasen oder in Halbleitern befaßt. Die E. umfaßt alle Geräte, Einrichtungen und Verfahren, deren Wirkungsweise völlig oder z. T. auf der gesteuerten Bewegung von Ladungsträgern (meist Elektronen, seltener Ionen) im Vakuum, in Halbleitern oder Gasen beruht. Zu den wichtigsten Bauelementen der E. zählen Elektronen-, Gasentladungsröhren, Transistoren, Dioden, Thyristoren, fotoelektrische Bauelemente u. a. Elektronische Geräte und Anlagen sind unentbehrlich für die Nachrichtenübermittlung, die BMSR-Technik sowie die Energietechnik und damit

für Mechanisierung und Automatisierung von Produktionsprozessen und -anlagen, für die Rechen- und Datenverarbeitungstechnik, in der Medizin, zur Lösung zahlreicher Aufgaben in der wissenschaftlichen Forschung u. a. Die große Bedeutung der E. für nahezu alle Industriezweige beruht darauf, daß man mit elektronischen Geräten und Anlagen wegen des Fehlens mechanisch bewegter Teile hohe Arbeitsgeschwindigkeiten bei niedrigem Energieverbrauch erreicht. Eine Einteilung der in rascher Entwicklung befindlichen E. kann z. B., nicht immer eindeutig abgegrenzt, nach Anwendungsbereichen oder nach den von der E. mit ausgenutzten physikalischen Effekten bzw. Teildisziplinen vorgenommen werden. In der *Nachrichten-* und *Informations-E.* werden elektronische Bauelemente und -gruppen (Transistoren, Bildröhren, Verstärker u. a.) zur Erfassung, Verarbeitung und Übertragung von Informationen eingesetzt. In der *Leistungs-E.* dienen elektronische Einrichtungen (bestückt z. B. mit Halbleiterdioden und Thyristoren) zum Steuern und Umformen großer Leistungen bei der Stromversorgung, bei der Regelung von Antriebsmotoren für große Maschinen und Elektrolokomotiven, bei der Elektrolyse, Elektroerwärmung u. a. Starkstromeinrichtungen. *Industrielle E.* ist der Oberbegriff für alle in der Industrie, im Verkehrs- und Transportwesen angewendeten Geräte, Anlagen und Verfahren der Nachrichten- und Leistungs-E. Teilweise faßt man unter der Bez. *Konsumgüter-E.* die *Unterhaltungs-* und *Haushalts-E.* zusammen, d. h. Hörrundfunk- und Fernsehempfänger, Magnettongeräte, Plattenspieler, elektronische Steuerungen und Regelungen z. B. von Waschmaschinen und Haushaltmotoren. Die *Fahrzeug-E.* hat die Anwendung elektronischer Mittel vor allem in der Kraftfahrzeugtechnik, z. B. in Zündanlagen, bei der Brennstoffeinspritzung, in Schutz- und Warneinrichtungen, zum Inhalt. In der ↑ *medizinischen Elektronik* wendet man elektronische Verfahren und Geräte u. a. zur Beobachtung, Kontrolle und Registrierung biologischer Vorgänge sowie für die Therapie, ferner elektronische Prothesen zur Unterstützung gestörter oder als Ersatz für ausgefallene Körperfunktionen an (z. B. ↑ Hörhilfen). Die *Meß-E.* (*elektronische Meßtechnik*) nutzt elektronische Geräte (z. B. ↑ Elektronenstrahloszillographen) und Verfahren für Messungen auf vielen Gebieten.
In der ↑ Quantenelektronik untersucht man Gesetzmäßigkeiten und Anwendungsmöglichkeiten der Wechselwirkungen zwischen elektromagnetischer Strahlung und Vorgängen in den Atomen (z. B. ↑ Maser), in der ↑ Akustoelektronik Zusammenhänge und Umwandlungen zwischen elektrischen Schwingungen und akustischen Wellen insbes. an Festkörperoberflächen. Die ↑ Kryoelektronik erforscht Möglichkeiten, die Supraleitfähigkeit für die E. zu nutzen, während die ↑ Optoelektronik innerhalb elektronischer Geräte und Systeme Licht als Hilfsmittel der Informationsgewinnung, -übertragung und -speicherung anwendet. Die ↑ Mikroelektronik beschäftigt sich damit, elektronische Bauelemente und Schaltungen so zuverlässig klein, leicht und billig wie möglich zu produzieren.

Elektrostriktion ↑ piezoelektrischer Effekt.
Emission, thermische ↑ Elektronenemission.
Emissionsmikroskop ↑ Elektronenmikroskop.
Emissionsstrom ↑ Elektronenemission.
Emitter ↑ Transistor.
Emitterschaltung ↑ Verstärker 1.2.
Empfänger: Einrichtung zum Nachweis von Strahlung oder Wellen, in der Funktechnik zur Aufnahme und Wiedergabe von Informationen, die durch elektromagnetische Wellen übertragen werden. Jeder E. erfüllt mindestens 3 Aufgaben: Aus den von einer Antenne stammenden HF-Spannungen am E.eingang wählt er diejenigen der gewünschten Frequenz aus (*Abstimmung*). Durch *Demodulation* (*Empfangsgleichrichtung*) gewinnt er die Informationen aus den HF-Spannungen zurück und leitet sie einem zur Wiedergabe geeigneten Instrument (z. B. einem Lautsprecher oder einer Fernschreibmaschine) zu. Vor und bzw. oder nach der Demodulation werden HF- bzw. Signalspannungen im E. fast ausnahmslos verstärkt. Die Einteilung der E. erfolgt z. B. nach Funktionsprinzip oder Aufgabenstellung.
1. Im ↑ *Geradeausempfänger* bleibt die Frequenz der HF-Spannungen vor der Demodulation unverändert. Im ↑ *Superhet* (*Überlagerungs-E.*) wird die HF-Spannung vor der Demodulation ein- oder mehrfach in ihrer Frequenz umgesetzt und verstärkt.
2. *Rundfunk-* und *Fernseh-E.* sind so konstruiert, daß sie zuverlässig und ohne Wartung durch den Benutzer arbeiten und leicht bedienbar sind. Ihre Wiedergabe in Ton und Bild soll einerseits möglichst originalgetreu sein, sich anderseits persönlichen Wünschen anpassen lassen (z. B. Stereofonie, Klang- und Kontrastregelung). Fernbedienungen bei Fernseh-E. und Anschlußmöglichkeiten für Zusatzeinrichtungen (Lautsprecher, Magnettongeräte, Plattenspieler, Fernsehaufzeichnungsgeräte) sind i. allg. vorgesehen; auf formschönes Äußeres wird Wert gelegt (Tonmöbel). Der Empfang soll mit einfacher Antenne befriedigend sein. E. für Funkdienste (*kommerzielle E.*) zeichnen sich – abgesehen von nachrichtentechnischen Forderungen, wie großer Empfindlichkeit, Trennschärfe, „Treffsicherheit" bei der Abstimmung u. a. – durch hohe Zuverlässigkeit und einfache Wartung aus. Geringe Masse und geringes Volumen, Widerstandsfähigkeit gegenüber mechanischen Belastungen sind, bes. im beweglichen Funkdienst, zusätzliche Forderungen. Die Ausführungsformen der E. sind mannigfaltig. *Reise-* und *Taschen-E.* z. B. sind unter dem Gesichtspunkt kleinster Masse und kleinsten Raumbedarfs konstruiert, demgegenüber dürfen bei Taschen-E. Empfindlichkeit und auch Wiedergabequalität zurücktreten. *Kraftfahrzeug-E.* (Autoradios) sollen unter rasch wechselnden Empfangsbedingungen ohne häufiges Nachstellen befriedigende Empfangsergebnisse liefern.
Geschichtliches. Der erste E. für Funktelegramme wurde von *Alexander Stepanowitsch Popow* am 24. 3. 1896 vorgeführt. Während bis um 1910 E. nicht verstärkten, setzten sich anschließend Geradeaus-E. mit einer

oder mehreren Verstärkerstufen durch. Bes. durch die Erfindung der Rückkopplung (1913 von *Alexander Meißner* angegeben) erhielten sie größte Bedeutung und waren z. B. beim Rundfunkempfang bis in die 30er Jahre allg. üblich. Der Superhet – seit 1918 angewendet – erlangte zunächst im kommerziellen Funkverkehr, später für den Rundfunk, das Fernsehen u. a. allg. Bedeutung und ist gegenwärtig der nahezu ausschl. angewandte E. Seit 1950 werden E., dem jeweiligen Entwicklungsstand der Halbleitertechnik entspr., zunehmend mit Halbleiterdioden und Transistoren statt mit Elektronenröhren bestückt.

Empfängerröhre ↑ Elektronenröhre.

Empfangsgleichrichter: svw. Demodulator eines Funkempfängers; vgl. Demodulation.

Endikon ↑ Bildaufnahmeröhre.

Endoradiosonde ↑ Intestinalsender.

Endstufe: im Signalweg letzte verstärkende Stufe eines Verstärkers, Empfängers oder Senders, meist mit der Aufgabe, Leistung an einen Verbraucher, z. B. an einen Lautsprecher oder eine Antenne, abzugeben.

Enhancement Mode [engl. svw. Anreicherungstyp] ↑ Transistor 2.

Enneode ↑ Elektronenröhre.

Enttrübung ↑ Peilanlage; vgl. Radar.

Entzerrung: schaltungstechnische Maßnahme, mit deren Hilfe eine lineare ↑ Verzerrung ausgeglichen wird. Zur E. dienen z. B. Glieder aus Kondensatoren, Widerständen und bzw. oder Spulen, die Teile eines Frequenzbands oder bestimmte Frequenzen eines Signals anheben, schwächen oder unterdrücken. Ein wirksames Mittel zum Vermindern linearer sowie nichtlinearer Verzerrungen ist die ↑ Gegenkopplung.

Epitaxietechnik ↑ Halbleitertechnologie.

EPROM ↑ Speicher 2.

Erdung: leitende, möglichst widerstandsarme Verbindung einer elektrischen oder elektronischen Anlage, eines Geräts oder seiner Baugruppen mit dem Erdreich. Von *Betriebs-E.* spricht man, wenn das Erdreich (z. B. in der drahtgebundenen Fernmeldetechnik) einen Leiter ersetzt. Die *Schutz-E.* verhindert gefährliche Spannungen zwischen leitenden Anlagen- oder Geräteteilen und dem Erdreich. In der drahtlosen Nachrichtentechnik verbessert die E. die Wirksamkeit von Sende- und Empfangsantennen, wenn der Abstand Antenne-Erdboden klein gegenüber der zu sendenden bzw. zu empfangenden Wellenlänge ist (gilt für den LW-, MW- und teilweise auch KW-Bereich). Der Sender oder Empfänger wird zwischen Antenne und Erde geschaltet; der Erdboden wirkt als Spiegelbild der Antenne.

Zur E. dienen *Erder*, z. B. Metallstäbe, die bis zum Grundwasserspiegel eingetrieben und mit der Erdleitung verbunden werden, unter der Erdoberfläche verlegte Drahtnetze oder strahlenförmig ausgelegte, nicht isolierte Drähte. Auch vorhandene Leitungsrohre werden häufig zur E. benutzt. Für die Ausführung von E.en gelten Vorschriften, deren Einhaltung ein Höchstmaß an Sicherheit elektrischer Anlagen gewährleistet.

E-Reihen: von der IEC [Abk. für engl. *I*nternational *E*lectrical *C*ommission, Internationale Kommission für Elektrotechnik] empfohlene und von vielen Ländern (auch der DDR) übernommene Zahlenreihen für die Stufung der Nennwerte von Bauelementen, insbes. von Widerständen und Kondensatoren, nach dem Grundsatz, daß die Toleranzbereiche einander bei üblichen Toleranzen (±50%, ±20%, ±10%, ±5%, ±2%) berühren oder überlappen. E. werden nach der Anzahl der Nennwerte je Dekade bez. So bedeutet z. B. die Bez. „E 6" (Toleranz ± 20%), daß den Bauelementen je Dekade die (mit 10er-Potenzen multiplizierbaren) Normzahlen 1,0, 1,5, 2,2, 3,3, 4,7, 6,8 zugrunde liegen. Ein Widerstand der Reihe E 6 mit dem Nennwert 1,0 kΩ hat demzufolge einen Toleranzbereich von 0,8 bis 1,2 kΩ, der nächstfolgende mit dem Nennwert 1,5 kΩ von 1,2 bis 1,8 kΩ usw. Für engere Toleranzen erhöht sich die Zahl der Normzahlen (E 48 für ±2% Toleranz z. B. auf 48).

Ersatzschaltung, elektrische: idealisierte oder vereinfachte Darstellung von elektronischen Bauelementen oder einer realen elektrischen Schaltung durch ein in seinen Eigenschaften und seiner Wirkung gleichwertiges Schema, das das Verhalten des Bauelements bzw. die Funktionsweise der Schaltung leichter zu übersehen und zu berechnen ermöglicht. Man ersetzt z. B. die Parallelschaltung mehrerer Widerstände durch einen Widerstand, dessen Wert dem resultierenden Widerstandswert der Parallelschaltung entspricht, betrachtet eine reale Spannungsquelle als Reihenschaltung einer idealen, widerstandslosen mit dem Innenwiderstand, sieht einen verlustbehafteten Kondensator als Parallelschaltung eines verlustfreien Kondensators mit dem Verlustwiderstand an usw.

E-Schicht ↑ Ionosphäre.

ESER (Abk. für *E*inheitliches *S*ystem elektronischer *R*echentechnik): im Auftrage des Rates für Gegenseitige Wirtschaftshilfe (RGW) auf der Grundlage eines 1969 abgeschlossenen mehrseitigen Abkommens von sozialistischen Ländern entwickelte Typenreihe elektronischer ↑ Datenverarbeitungsanlagen mit dem Ziel, die internationale sozialistische Arbeitsteilung, Spezialisierung und Kooperation optimal in diesem Bereich zu nutzen. Alle Modelle des E. werden nach zwischen den beteiligten Ländern abgestimmten Standards entwickelt. E. umfaßt Rechner mit abgestuften Leistungsparametern u. a. von 8 000 bis $2 \cdot 10^6$ Operationen/s (DDR-Beitrag z. B. EC 1040, UdSSR EC 1060) sowie alle nötigen ↑ Peripheriegeräte. Austauschbarkeit und Kombinierbarkeit der Einzelgeräte und -anlagen sowie international nutzbare Programmsysteme sichern große Einsatzbreite und hohe Effektivität der EDVA.

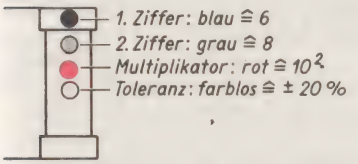
Eurovision: Organisation westeuropäischer Rundfunkgesellschaften zur Durchführung gemeinschaftlicher und zum Austausch von Fernsehsendungen. Die E. nahm ihre Tätigkeit nach Vorversuchen 1954 auf. Die Verbindung der einzelnen Sender, auch die mit der ↑ Intervision, geschieht durch ↑ Richtfunkstrecken.

EVR ↑ Fernsehaufzeichnung.

externe Speicher ↑ Peripheriegeräte.

F

Fading ↑ Schwund.
Faksimileschreiber ↑ Bildfunk.
Falle ↑ Fernsehempfänger.
Faltdipol ↑ Antenne.
Fangbereich: der durch 2 Grenzwerte festgelegte Bereich, in dem eine Regeleinrichtung Änderungen kompensiert, also „abfängt", z. B. bei automatischer ↑ Scharfabstimmung, Amplitudenregelung usw.
Farbcoder und **-differenzsignal** ↑ Fernsehen 2.
Farbdecoder und **-kanalschalter** ↑ Fernsehempfänger 2.
Farbreihe, internationale, *Farbcode*: international vereinbartes, aber trotzdem nicht einheitlich gehandhabtes System zur Kennzeichnung des Nennwerts und der Toleranz von Widerständen und Kondensatoren durch Farbpunkte oder Farbringe. Die ersten beiden Farbpunkte (-ringe), vom Widerstandsende aus bzw. bei Kondensatoren in Richtung des aufgedruckten oder -geprägten Pfeils gelesen, geben die beiden ersten Ziffern des Widerstandswerts in Ohm bzw. der Kapazität in Picofarad an, der dritte Farbpunkt (-ring) den Multiplikator in Zehnerpotenzen, mit dem die beiden ersten Ziffern zu multiplizieren sind, der vierte Farbpunkt (-ring) die Toleranz in Prozenten. Für Kondensatoren (bes. in Miniaturausführung) sind auch andere Bezeichnungssysteme in Gebrauch, die zusätzliche Informationen, z. B. über Nennspannung und Temperaturkoeffizient, liefern.



Kennzeichnung eines Widerstands von $68 \cdot 10^2\ \Omega = 6{,}8\ k\Omega$ nach der internationalen Farbreihe

Farbteiler ↑ Fernsehkamera.
Farbträger ↑ Fernsehen 2.
FBAS-Signal ↑ Fernsehen.
FED ↑ Diode 2.
Feldemission ↑ Elektronenemission.
Feldionenmikroskop ↑ Elektronenmikroskop.
Feldplatte: magnetfeldabhängiger Halbleiterwiderstand auf der Grundlage des ↑ Hall-Effekts zur Steuerung von Strömen mit Hilfe eines Magnetfelds. Eine F. ist eine dünne, auf einem isolierenden Träger aufgebrachte Schicht als Halbleitermaterial, z. B. aus Indiumantimonid, mit eingelagerten, winzigen, metallisch leitenden Nadeln,z. B. aus Nikkelantimonid. Im Feld werden die Strombahnen in Abhängigkeit von der magnetischen Feldstärke gedreht, was ihrer Verlängerung und damit einer

Widerstandserhöhung gleichkommt. F., die bis etwa Briefmarkengröße haben, werden in der Meßtechnik, zum Aufbau „kontaktloser" veränderbarer Widerstände (Änderung durch Nähern oder Entfernen einer permanentmagnetischen Steuerscheibe vorgegebener Form), in der Steuerungstechnik und in Analogrechnern angewendet.

Fernhörer ↑ Kopfhörer.

Fernlenkung: Anwendung der ↑ Fernsteuerungstechnik auf die Lenkung beweglicher Objekte (z. B. Land-, Luft- und Raumfahrzeuge, Raketen und Raketenwaffen, Flugkörper, Flugzeug- und Schiffsmodelle).

Bei *Kommandolenkung* werden die Objekte von einem Leitstand am Boden oder in einem anderen Fahrzeug durch Kommandos geführt, die auf die Steuerorgane an Bord, z. B. auf Rudermaschinen, wirken. Zur Kommandoübermittlung dient meist eine Funkverbindung. Seltener, z. B. bei der F. von kleinen Fahrzeugen oder Booten mit aufgesetzter Sprengladung sowie von Panzerabwehrraketen, ist das gelenkte Objekt durch einen Draht mit dem Leitstand verbunden. Auch Schall- und Ultraschallwellen (bei der *Unterwasserlenkung*) oder (selten) Licht werden als Signalträger eingesetzt. Die Kommandos werden an Bord mit einem geeigneten Empfänger aufgenommen und zur Befehlsgabe ausgewertet. Bei *Einkanalsteuerung* kann durch Ein- und Ausschalten des Leitstandsenders nur ein Ja/Nein-Kommando übertragen werden, z. B. Ruderausschlag rechts oder links (für Geradeausbewegung schneller Wechsel rechts/links, sog. *Flattersteuerung*). Mehrere verschiedene Kommandos in starrer Reihenfolge (z. B. geradeaus – rechts – geradeaus – links) sind bei Einkanalsteuerung möglich, indem an Bord z. B. ein Schrittschaltwerk betätigt wird, das bei jedem Funksignal zur Ausführung des nächsten Befehls weiterschaltet. Flexibler ist die *Mehrkanalsteuerung.* Eine Trägerfrequenz wird gleichzeitig oder nacheinander mit verschiedenen festen Tonfrequenzen moduliert. Sie werden an Bord durch Resonanzrelais oder nach dem Prinzip der ↑ Selektivrufeinrichtung getrennt und betätigen die entspr. Lenkorgane. Durch Kombinieren relativ weniger Tonfrequenzen lassen sich zahlreiche Befehle geben (vgl. Fernsteuerungstechnik). Bes. Bedeutung erlangte die F. mit Hilfe übertragener Impulse bzw. Impulsfolgen. Durch die Impulstastung wird trotz relativ geringen mittleren Energiebedarfs des Senders eine hohe Reichweite erzielt, während z. B. durch Variation des Tastverhältnisses (Impulsdauer/Impulspause bei konstanter Impulsfolgefrequenz) an Bord stetig veränderbare Spannungen für eine Proportionalsteuerung zu gewinnen sind, z. B. Ruderausschläge beliebiger Größe. Die Übertragung mehrerer voneinander unabhängiger Kommandos ist z. B. möglich, indem man die zugehörigen Impulsfolgen zeitlich ineinanderschachtelt (*Zeitmultiplex-Verfahren*). Voraussetzung für richtige Kommandogabe im Leitstand ist Kenntnis von Standort und Bewegungszustand des Objekts. Diese Kenntnis erhält man durch optische Mittel, durch Radar, mitunter auch durch eine im gelenkten Objekt vorhandene Fernsehkamera, die das Ziel beobachtet.

Bei *Leitstrahllenkung* bewegt sich das gelenkte Objekt längs eines vom Leitstand gesendeten Funkstrahls. Bei Abweichungen von diesem werden an Bord Steuerkommandos gebildet, die das Objekt auf den Leitstrahl zurückführen (vgl. Instrumentenlandesystem; Zielverfolgung unter ↑ Radar). Änderungen der Flugbahn werden durch Schwenken des Leitstrahls erreicht, auf den das Objekt stets zurückkehrt. Leitstrahlerzeugung und Bahnverfolgung des Objekts nach dem Radarprinzip sind häufig technisch vereint. Die Kombination zwischen F. und Zielsuchlenkung (↑ Selbstlenkung) ist bes. im militärischen Bereich weit verbreitet.

Fernmessung: Verfahren zur Messung von Größen bei (oft großer) Entfernung zwischen Meßstelle und Anzeigeort, die sich zur Übertragung der Werte einer – meist elektrischen – Hilfsgröße bedienen. Aus den gemessenen Größen werden durch Meßwandler analoge oder digitale Signale abgeleitet, über Draht oder drahtlos übertragen und am Empfangsort in eine für die Anzeige geeignete Form umgewandelt. Die Übertragung analoger Signale kann z. B. mit Hilfe von den Meßwerten entspr. Tonfrequenzen oder durch ↑ Pulse mit den Meßwerten entspr. Pulsfrequenz geschehen. Digitale Signale werden z. B. nach dem ↑ Dualsystem kodiert und nach Methoden der Pulsmodulation (↑ Modulation 4.) übermittelt. Zur gleichzeitigen oder nahezu gleichzeitigen Übertragung mehrerer oder zahlreicher Meßwerte gibt es Verfahren, die sich an die ↑ Trägerfrequenztechnik anlehnen, oder solche, bei denen die Meßwerte zeitlich nacheinander durch Ineinanderschachteln übertragen werden.

Die F. erlangte zunächst Bedeutung für die Steuerung und Überwachung von Energieversorgungsnetzen. Sie wird heute zunehmend auch für die Kontrolle von Transportsystemen, wie Erdöl- und Erdgasleitungen, Produktionsanlagen, zu Messungen an unzugänglichen Stellen, im Verkehrswesen, in der ↑ medizinischen Elektronik und vor allem in der Raumfahrt eingesetzt (*Telemetrie*).

Fernsehaufzeichnung, *Videoaufzeichnung*: Speicherung von mit Fernsehkameras gemachten Aufnahmen, insbes. von Fernsehsendungen zur vielfachen, aber auch zur Zeitlupen- oder Standbildwiedergabe für Studio-, Lehr- und Unterhaltungszwecke. Neben Mitteln der Filmtechnik ist vor allem die F. auf ↑ Magnetbändern (Videobändern) gebräuchlich (vgl. Magnetbandgerät). Schwierigkeiten ergaben sich dabei zunächst daraus, daß Frequenzen bis 5 MHz, d. h. etwa 300fach höhere als bei Tonaufzeichnung, zu speichern sind, die höchste speicherbare Frequenz aber von der Spaltbreite des Aufnahme- bzw. Wiedergabekopfs und der Relativgeschwindigkeit zwischen Kopf und Band abhängt. Da die Spaltbreite nicht beliebig zu verringern ist, wäre zur F. an sich eine Bandgeschwindigkeit um 40 m/s erforderlich. Da diese kaum direkt zu verwirklichen ist, wird z. B. bei dem vor allem in der Studiotechnik verbreiteten *Ampex-Verfahren* (urspr. Firmenbez.) eine entspr. Relativgeschwindigkeit erreicht, indem die Aufzeichnung sprossenartig mit hoher Geschwindigkeit auf einem 50,8 mm breiten, mit normaler Geschwindigkeit (z. B. 38,1 cm/s) laufenden Band erfolgt. Quer zur Band-

laufrichtung (daher Bez. „Querspuraufzeichnung") rotiert eine Magnetkopftrommel, z. B. mit 15000 min^{-1}, auf deren Umfang 4 Aufnahme-und-Wiedergabe-Köpfe verteilt sind. Jeder „schreibt" als Aufnahmekopf beim Überstreichen des Bandes eine Sprosse, die etwa 16 bis 17 nutzbare Zeilen eines Fernsehbilds speichert; an den Sprossenenden besteht Überlappung mit der vorausgehenden bzw. folgenden Zeile. Das aufzuzeichnende Signal wird den Köpfen über Schleifringe auf der Antriebsachse zugeführt, das Band durch Ansaugen in einer konkaven Führungsbahn so gehalten, daß es die Magnetkopftrommel dicht umfaßt. Durch zusätzliche Frequenzmodulation der Signalströme wird erreicht, daß auch niedrige Frequenzen einwandfrei aufgezeichnet werden. Die erforderliche starre Phasenlage zwischen den Motoren für den Band- und für den Magnetkopftrommelantrieb wird durch eine fotoelektronische Steuervorrichtung erreicht. Sie zeichnet außerdem an einem Bandrand eine Steuerspur auf, die die Phasenstarrheit auch bei der Wiedergabe sichert. Zusätzlich aufgezeichnete Steuerimpulse für alle Bildwechsel ermöglichen es, die Bilder bei einem Bandschnitt lückenlos wieder aneinanderzufügen. Der Ton wird auf dem anderen Rand des Bandes aufgezeichnet. Bei der Wiedergabe ist – im Unterschied zur Aufnahme – immer jeweils nur derjenige Kopf eingeschaltet, der das Band gerade bestreicht. Das geschieht mittels ↑ Torschaltungen, die über die Steuerspur und die Zeilen-Synchronisierimpulse geöffnet und geschlossen werden und ihr Ausgangssignal einem Demodulator zuleiten. Hinter dem nachgeschalteten Verstärker steht das Bildsignal zur Verfügung.

Bei *Schrägspuraufzeichnung* wird die erforderliche Relativgeschwindigkeit zwischen Band und Kopf erreicht, indem das mit geringer Geschwindigkeit, z. B. 11,47 cm/s, laufende Band ganz oder teilweise eine zylindrische Trommel umschlingt, in deren Innerem 1 oder 2 Aufnahme- bzw. Wiedergabeköpfe mit hoher Geschwindigkeit rotieren. Aufzeichnung und Abtastung erfolgen dadurch in schräg über das Band laufenden Spuren. Schrägspuraufzeichnung wird wegen des etwas geringeren technischen Aufwands und einfacher Handhabung vor allem für halb-professionelle Anwendungen, z. B. in Lehr- und Bildungsstätten und für Heimgeräte (↑ Magnetbandgerät), benutzt.

Während die auch für Farbaufnahme und -wiedergabe geeigneten Verfahren der magnetischen F. in Verbindung mit einem Fernsehempfänger oder einer -kamera sofort wiederholbare, löschbare Aufnahmen ermöglichen, bedürfen andere Methoden nach der Aufzeichnung eines speziellen Entwicklungsprozesses; sie sind daher z. B. für „Eigenaufnahmen" ungeeignet.

Beim *EVR-System* [engl. *E*lectronic *V*ideo *R*ecording, elektronische Video-Aufzeichnung] werden die Bildsignale von einem nahezu punktförmig fokussierten Elektronenstrahl im Vakuum in einer bzw. bei Farbaufnahmen in 2 nebeneinanderliegenden Spuren auf Spezialfilm gezeichnet, nach dessen Entwicklung der Bildinhalt in Gestalt unterschiedlicher Schwärzungen gespeichert ist, während die Begleittonsignale in Magnet-

spuren am Filmrand enthalten sind. Zur Wiedergabe werden die Schwärzungen durch einen ↑ Lichtpunktabtaster und fotoelektronische Bauelemente in elektrische Signale rückverwandelt, die z. B. einem Fernsehempfänger zugeführt werden.

Das System *Selectavision* (nicht zu verwechseln mit einem gleichnamigen Verfahren für ↑ Bildplatten) benutzt für Aufnahme und Wiedergabe holographische Methoden. Die ebenfalls mit einem Elektronenstrahl auf Spezialfilm festgehaltenen Bildsignale werden nach entspr. Aufbereitung mit Hilfe eines ↑ Lasers auf ein Kunststoffband überspielt, auf dem durch örtliches Erweichen und anschließendes Ablösen der belichteten Stellen ein holographisches Reliefbild entsteht. Von diesem wird elektrolytisch ein Nickel-Negativ gewonnen, von dem nunmehr weitere Kopien des Reliefbandes hergestellt werden können. Zur Wiedergabe wird die Kopie von Laserlicht durchstrahlt. Eine ↑ Bildaufnahmeröhre setzt das Licht in elektrische Signale um, die einem Fernsehempfänger zugeleitet werden. Vgl. auch Bildplatte.

Fernsehempfänger: ↑ Superhet für den VHF- und UHF-Bereich zum Empfang von Sendungen des Fernsehrundfunks in Schwarz-Weiß oder in Schwarz-Weiß und Farbe, d. h. für die Aufnahme des amplitudenmodulierten BAS- bzw. FBAS-Signals (↑ Fernsehen) und des frequenzmoduliert übertragenen Begleittons.

1. *Schwarz-Weiß-F.*: Beim allg. eingeführten *Intercarrierverfahren* (Differenzträgerverfahren, Abb. *1*) durchlaufen BAS-Signal und Begleitton den F. bis nach dem Videodemodulator (s. u.) gemeinsam und werden anschließend getrennt, im Gegensatz zum veralteten *Paralleltonverfahren*, bei dem die Trennung bereits vor dem ZF-Verstärker erfolgte.

Die von der VHF- bzw. UHF-Antenne aufgenommenen Signale werden in einem oder 2 getrennten ↑ Kanalwählern verstärkt und durch Mischung

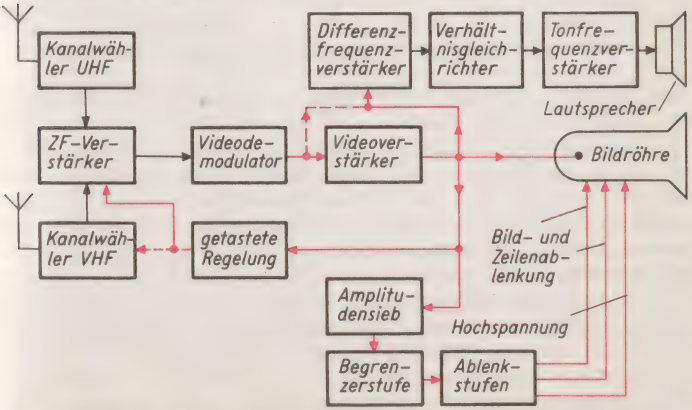


Abb. *1*: Blockschaltbild eines Fernsehempfängers nach dem Intercarrierverfahren

in den ZF-Bereich umgesetzt. Die Zwischenfrequenz beträgt bei den meisten F. der CCIR-Norm 38,9 MHz für die Bild- und 33,4 MHz für die Tonträgerfrequenz des aufgenommenen Signals.

Der ↑ Zwischenfrequenzverstärker ist hier ein Breitbandverstärker mit einer Bandbreite von 5 bis 6 MHz und 3 000- bis 30 000facher, selbsttätig geregelter Verstärkung. Er ist in der Regel drei- oder vierstufig ausgeführt. Zur Kopplung der Stufen dienen Bandfilter oder einzelne Schwingungskreise. Die bes. Form der Durchlaßkurve des ZF-Verstärkers (Abb. 2) folgt aus der auf der Senderseite angewendeten Restseitenbandübertragung und aus der Anwendung des Intercarrierverfahrens beim Empfänger. Die Bildträgerfrequenz liegt in der Mitte der relativ flach abfallenden Flanke der Durchlaßkurve (sog. *Nyquist-Flanke*). Das ist nötig, weil bei Restseitenbandübertragung die dicht neben der Bildträgerfrequenz liegenden tiefen Modulationsfrequenzen im rechten und linken Seitenband übertragen werden und damit beim Empfang einen höheren Leistungsanteil beisteuern, während mittlere und hohe Frequenzen nur als ein Seitenband erscheinen. Durch die Lage der Bildträgerfrequenz auf der Nyquist-Flanke werden die tiefen Frequenzen gegenüber den mittleren und hohen geschwächt, so daß die dem Bildinhalt entspr. Amplitudenverhältnisse wieder hergestellt werden.

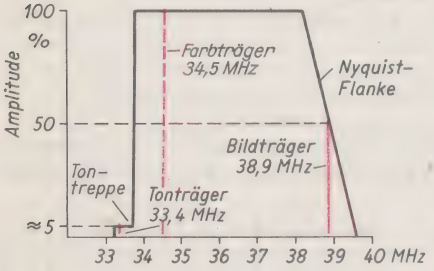


Abb. 2: Durchlaßkurve des ZF-Verstärkers eines Fernsehempfängers (idealisiert)

Die Tonträgerfrequenz darf am Ausgang des ZF-Verstärkers nur mit etwa 5 % der Amplitude des Bildträgers auftreten, da es sonst in den folgenden Stufen des F. zu störenden Wechselwirkungen zwischen Bild- und Tonsignal käme (z. B. „Ton im Bild“: mit der Tonmodulation schwankende Streifen quer über den Bildschirm). Die Durchlaßkurve des ZF-Verstärkers muß daher einerseits „vor“ der Tonträgerfrequenz steil abfallen, anderseits die Übertragung des Begleittons sichern (sog. *Tontreppe*). Die geforderte Durchlaßkurvenform wird annähernd erreicht, indem man eine sehr feste Bandfilterkopplung der Stufen anwendet oder die Bandfilterkreise nach beiden Seiten gegen die Mitte des zu übertragenden Frequenzbands verstimmt. Bei Kopplung durch einzelne Schwingungskreise werden diese so gegeneinander verstimmt, daß sich die zugehörigen Resonanzkurven annähernd zur Durchlaßkurve zusammensetzen. Zusätzlich wendet man *Fallen* an, Schwingungskreise, die mit den Stufen

des ZF-Verstärkers gekoppelt sind und diesem auf ihrer Resonanzfrequenz Energie entziehen. So schwächt eine auf 33,4 MHz abgestimmte Falle den für die Tontreppe entscheidenden Frequenzbereich der übertragenen Signale so weit, daß die geforderte Kurvenform entsteht. Weitere Fallen unterdrücken Bild- und Tonträger von evtl. auf Nachbarkanälen eindringenden Sendern. Kopplung und Abgleich der Fallen müssen sorgfältig vorgenommen werden, da sich sonst zwischen den hohen und tiefen Frequenzen des übertragenen Kanals Laufzeitunterschiede bemerkbar machen, die im Fernsehbild bes. an Schwarz-Weiß-Trennlinien als „Fahnen" stören (verwaschene Übergänge von Dunkel nach Hell).

Dem ZF-Verstärker folgt der ↑ Videodemodulator (Bildgleichrichter). An seinem Ausgang stehen das demodulierte BAS-Signal und das frequenzmodulierte Differenzfrequenzsignal zur Gewinnung des Begleittons zur Verfügung. Das Differenztonsignal kann hier abgezweigt werden (rote Strichlinien in der Abb.), wird jedoch meistens mit dem BAS-Signal dem ↑ *Videoverstärker* (*Bildverstärker*) zugeleitet. Er stellt die zur Helligkeitssteuerung der Bildröhre nötige Spannung bereit, verstärkt Austast- und Synchronisierimpulse sowie das Differenztonsignal.

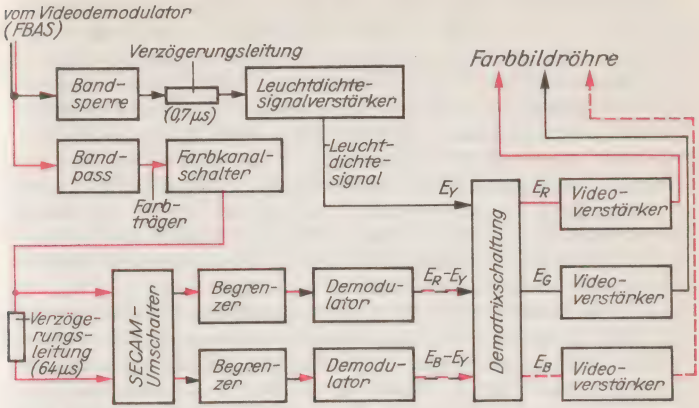
Das Differenztonsignal (5,5 MHz bei CCIR-Norm) wird nach Abzweigung vom Videoverstärker bzw. vom -demodulator verstärkt, in einem *Ratiodetektor* (↑ Demodulation) demoduliert und im nachfolgenden *Tonfrequenzverstärker* verstärkt.

Die Synchronisierimpulse gelangen, zunächst mit den Bildsignalen gemeinsam, zum ↑ *Amplitudensieb*, das nur die Synchronisierimpulse passieren läßt. In einer *Begrenzerstufe* werden diese von noch vorhandenen Resten des Bildsignals befreit und anschließend in Bild- und Zeilenimpulse getrennt. Mit Hilfe von ↑ *Ablenkstufen* steuern diese Impulse den zeilenweisen Lauf und Rücklauf des Elektronenstrahls sowie den Bildwechsel in der Bildröhre. Daneben wird in der Zeilenablenkstufe die für die Elektronenbeschleunigung in der Bildröhre nötige Hochspannung von etwa 16 kV erzeugt. Die Steuerspannung für die in den meisten F. vorhandene *getastete* ↑ *Regelung* wird gleichfalls nach dem Videoverstärker entnommen. Hilfsschaltungen sichern, teils von Hand bedient, teils selbsttätig, ein stabiles, persönlichen Wünschen anpaßbares Bild. So weisen moderne F. meist eine *automatische* ↑ *Scharfabstimmung* auf, die eine Feinabstimmung des Kanalwählers von Hand erübrigt. Die Sendereinstellung geschieht meist über Drucktasten oder Sensorautomatik (↑ Berührungsschalter), die Kanalanzeige durch Glimmlampen, Leuchtdioden oder Ziffernanzeigeröhren (auch Lösungen mit in das Schirmbild eingeblendeter Kanalzahl sind bekannt). Die *Helligkeitsregelung*, d. h. die Anpassung der Grundhelligkeit des Schirmbilds an die Raumbeleuchtung, erfolgt durch Verändern der Spannung zwischen Bildröhrenkatode und Wehnelt-Zylinder mittels eines veränderbaren Widerstands; der ↑ Bildkontrast wird durch Verändern der Bildsignalamplituden eingestellt (zur automatischen Kontrastregelung trägt die getastete Regelung bei).

Zeilenbreite und Bildhöhe werden durch Regelschaltungen stabilisiert, die für eine, z. B. von Netzspannungsschwankungen unabhängige, gleichbleibende Spannung am Ausgang der Ablenkstufen sorgen. Der Schonung der Bildröhre dient die *Leuchtpunktunterdrückung*: Beim Ausschalten älterer F. blieb die Anodenspannung der Bildröhre länger wirksam als die Ablenkströme, so daß der Elektronenstrahl kurzzeitig weiter einen sehr hellen Punkt im Schirmzentrum hervorrief, der auf die Dauer die Leuchtstoffschicht schädigte. Durch langsames Entladen eines während des Betriebs aufgeladenen Kondensators wird nun erreicht, daß nach dem Abschalten der Wehnelt-Zylinder gegenüber der Bildröhrenkatode kurzzeitig positiv wird und damit die von der noch heißen Katode emittierten Elektronen am Erreichen des Bildschirms hindert.

Die *Fernbedienung* des F. beschränkte sich zunächst meist auf die Einstellbarkeit von Lautstärke, Helligkeit und Kontrast mittels in einem Handelement vereinigter veränderbarer Widerstände, die über ein Kabel an den F. angeschlossen wurden. Gegenwärtig gewinnt die drahtlose ↑ Ultraschall-Fernbedienung für Heim-F. rasch an Bedeutung. Sie ermöglicht die Fernsteuerung aller wichtigen Einstellfunktionen einschl. Kanalwahl und Ein- und Ausschalten. Zur Erhöhung des Bedienkomforts gehören bei manchen F. Tasten, mit denen der Begleitton kurzzeitig abgeschaltet werden kann, bzw. „drahtlose Kopfhörer". Diese sind mit einem miniaturisierten Empfänger für mit dem Begleitton modulierten Ultraschall ausgestattet und ermöglichen Tonempfang bei abgeschalteten Gehäuselautsprechern.

2. *Farb-F.*: Sie enthalten alle Stufen eines Schwarz-Weiß-F. mit gleicher Funktion, meist jedoch in veränderten Dimensionen. Für die Gewinnung des Differenzfrequenz- und des FBAS-Signals sind getrennte Demodulatoren nötig, der Videoverstärker, auch Leuchtdichtesignalverstärker genannt, wird häufig unter Zwischenschaltung einer Verzögerungsleitung (s. u.) aufgeteilt. Neu hinzu kommen vor allem die den Farbdecoder (Abb. *3*) bildenden Baustufen zur Gewinnung des Farbsignals. Beim *SECAM-Decoder* wird das vom Videodemodulator bereitgestellte FBAS-Signal in Leuchtdichtesignal (E_y) und modulierten Farbträger geteilt. Das Leuchtdichtesignal erreicht über eine Bandsperre (↑ Filter) zur Unterdrückung des Farbträgers eine Verzögerungsleitung, in der es um 0,7 μs verzögert wird. Dies ist erforderlich, um trotz der sich aus der Aufbereitung der Farbwertsignale ergebenden Verzögerung Koinzidenz von Leuchtdichte- und Farbwertsignal zu bewahren. Das Leuchtdichtesignal wird nochmals verstärkt und der *Dematrixschaltung* zugeführt. Der Farbträger gelangt über einen Bandpaß und den Farbkanalschalter zum *SECAM-Umschalter*, und zwar einmal direkt, zum anderen über eine Verzögerungsleitung, wo er durch Umwandlung in Ultraschallschwingungen, Transport und Rückwandlung in elektrische Werte um genau eine Zeilenlänge (64 μs) verzögert wird. Der SECAM-Umschalter, durch einen vom Sender synchronisierten Impulsgenerator gesteuert, schaltet die nacheinander eintreffenden Farbinformationen so um, daß an seinem



Fernsehempfänger, Abb. 3: Prinzip der SECAM-Decodierung

Ausgang ständig 2 zunächst noch frequenzmodulierte Farbdifferenzsignale zur Verfügung stehen. Diese werden getrennt begrenzt und demoduliert. Die erhaltenen Farbdifferenzsignale (E_R-E_Y) und (E_B-E_Y) erreichen die Dematrixschaltung. In dieser werden aus Leuchtdichtesignal und Farbdifferenzsignalen die Farbwertsignale E_R, E_B und E_G gewonnen, die nach nochmaliger Verstärkung die Farbbildröhre steuern. Die vom Sender ausgestrahlten Kennimpulse sperren bei Schwarz-Weiß-Übertragungen über den Farbkanalschalter den Übertragungsweg der Farbsignale, wodurch Rauschstörungen über den Farbkanal vermieden werden.

Wichtigste Baustufe des *NTSC-Decoders* ist der *Referenzoszillator*, ein von den Farbsynchronisierimpulsen synchronisierter, quarzstabilisierter Oszillator. Von ihm werden die beim Sender unterdrückten, in der Phase um 90° gegeneinander verschobenen Farb(hilfs)träger abgeleitet und dem Farbsignal zugesetzt. Durch Demodulatoren werden *I*- und *Q*-Signal (vgl. Fernsehen) zurückgewonnen. Der *PAL-Decoder* unterscheidet sich vom NTSC- und SECAM-Decoder vor allem durch den *PAL-Umschalter*, mit dessen Hilfe die Phase des *I*-Signals zeilenweise, dem Vorgang beim Sender entspr., um 180° umgeschaltet wird.

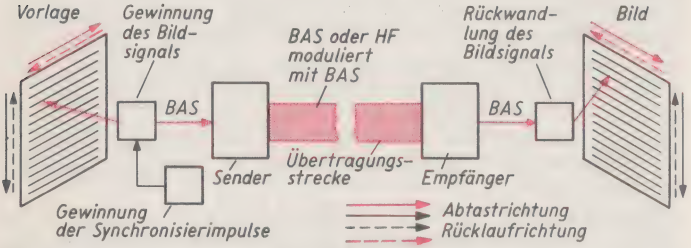
Da sich bei Farbwiedergabe bereits geringfügige Leuchtfleckverschiebungen oder Abweichungen von der Bildgeometrie sehr störend bemerkbar machen, sind weitere Baustufen, z. B. *Konvergenzschaltungen* (vgl. Bildröhre 2.) und Schaltungen zur Stabilisierung der Bildröhren-Hochspannung erforderlich.

Während die ersten F. durchweg mit Elektronenröhren bestückt waren, setzte sich in den letzten Jahren die Halbleiterbestückung (mit Ausnahme der Bildröhre) durch. Auch mit Elektronenröhren und Halbleiterbauele-

menten bestückte F. sind noch gebräuchlich. Integrierte Schaltungen für Baustufen von F. werden zunehmend eingesetzt, z. B. für die Verstärkung und Demodulation der Bild- und Tonträgerfrequenz sowie zur Impulsabtrennung und Zeilensynchronisation. Neben Heim-F. mit Bildschirmdiagonalen bis >60 cm erlangen tragbare, oft aus nachladbaren Batterien und dem Netz zu speisende Klein-F. mit Bildschirmdiagonalen bis herab zu etwa 15 cm Verbreitung.

Fernsehen, *Television*, Abk. TV: elektrische Übertragung (Aufnahme und Wiedergabe) von Bildern bewegter oder ruhender Objekte auf leitungsgebundenem oder drahtlosem Wege in Schwarz-Weiß oder in Farben mit oder ohne Begleitton. Hauptanwendungsgebiete des F. sind der *Fernsehrundfunk* und das *industrielle F.*

1. *Schwarz-Weiß-F.*: Jedes Bild wird zeilenweise in eine zeitliche Folge von ↑ Bildelementen zerlegt. Ihre Helligkeitswerte werden beim Abtasten in der Bildaufnahmeröhre der ↑ *Fernsehkamera* in elektrische Spannungen umgewandelt und das *Bildsignal* vom Sender zum Empfänger übertragen (Abb. *1*). Bei dem bes. im Fernsehrundfunk angewendeten ↑ Zeilensprungverfahren setzt sich jedes Bild aus 2 Halbbildern zusammen. Im Empfänger werden die Bildsignale durch die Bildröhre in Helligkeitswerte von Bildelementen verwandelt, aus denen sich wieder ein optisches

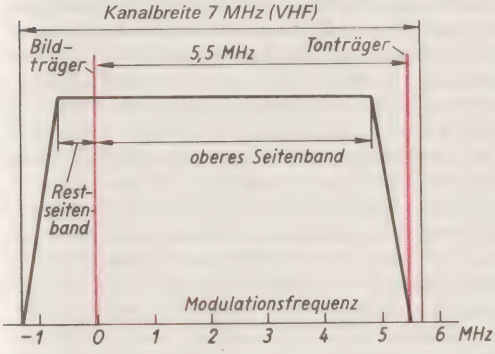


Fernsehen, Abb. *1*: Prinzip einer Fernsehübertragung

Bild aufbaut. Zur Übertragung der Bilder bewegter Objekte müssen wie beim Film in rascher Folge Einzelbilder (bzw. Halbbilder) übertragen werden. Die Anzahl der je Sekunde zu übertragenden Halbbilder (nicht exakt i. allg. Sprachgebrauch häufig als *Bildfrequenz* bez.) sowie die Anzahl der Zeilen, in die das einzelne Bild zerlegt wird, sind durch die jeweilige ↑ *Fernsehnorm* festgelegt. Die Übertragung setzt einen synchronen Ablauf zwischen Bildabtastung bei der Aufnahme und Bildaufbau bei der Wiedergabe voraus, der durch Übertragung von *Synchronisierimpulsen* erreicht wird; *Horizontal-Synchronisierimpulse* legen Zeilenbeginn und -ende, *Vertikal-Synchronisierimpulse* den Halbbildwechsel fest. *Austastimpulse* sorgen dafür, daß bei Zeilen- und Halbbildwechsel der zurücklaufende Elektronenstrahl der Bildröhre verdunkelt wird, d. h. keinen Leuchtfleck auf dem Bildschirm hervorruft. Form,

Dauer und Anordnung dieser Impulse sind gleichfalls durch die Fernsehnorm bestimmt. Bildsignal (*B*), Austast- (*A*) und Synchronisierimpulse (*S*) ergeben das vollständige, für die Bildübertragung benötigte *BAS-Signal*. Es wird im Fernsehsender für die Amplitudenmodulation des Bildsenders benutzt, während der Begleitton vom Tonsender frequenzmoduliert ausgestrahlt wird. Der Frequenzabstand von Bild- und Tonsender ist ebenfalls durch die Fernsehnorm festgelegt; daher ist gleichzeitiges Abstimmen des Empfängers auf Bild- und Tonsender möglich.

Die Anzahl der Bildelemente je Zeile, die Zeilenzahl je Bild, die Anzahl der Bild- bzw. Halbbildwechsel je Sekunde und das Seitenverhältnis des Bildes bestimmen die Anzahl der je Sekunde zu übertragenden Bildelemente und damit die Bandbreite des Übertragungskanals. Allg. gilt, daß eine Fernsehübertragung um so mehr Einzelheiten wiedergibt, je größer die Anzahl der Bildelemente ist. Da bei der für die DDR gültigen



Fernsehen, Abb. 2: Frequenzspektrum eines Fernsehsenders bei Restseitenbandmodulation

CCIR-Fernsehnorm Frequenzen des Bildsignals bis 5 MHz auftreten, betrüge die Bandbreite bei normaler Amplitudenmodulation (Betriebsart *A 3*) 10 MHz. Man wendet daher die *Restseitenbandmodulation* an (Abb. 2). Das „untere", d. h. frequenzmäßig niedrigere Seitenband des Bildsenders wird (bis auf einen Rest) unterdrückt (Restseitenband: völlige Unterdrückung würde die technische Ausführung von Sendern und Empfängern erheblich komplizieren); an das „obere" Seitenband schließt sich der Tonträger für den Begleitton an. Der somit benötigte Frequenzkanal von insgesamt 6,75 MHz Breite und die Forderung, daß die Trägerfrequenz ein Vielfaches der Modulationsfrequenz betragen soll, zwingen dazu, Fernsehsendungen hoher Qualität im VHF- oder UHF-Bereich bzw. über breitbandige Spezialkabel zu übertragen.

2. *Farb-F.*: Außer den Helligkeitswerten wird auch die Farbe der Bild-

elemente übertragen. Physikalisch-physiologische Grundlage ist, daß jeder Farbeindruck, entspr. den rot-, grün- und blauempfindlichen Zapfen des Auges, durch Mischen dieser Grundfarben erzielt werden kann, die ihrerseits durch den Farbton, d. h. die durch die Lichtwellenlänge festgelegte Farbe, und die Farbsättigung, d. h. den Weißanteil der Farbe, gekennzeichnet sind. Beim F. werden also neben einem *Leuchtdichte-* oder *Helligkeitssignal* (dem Bildsignal des Schwarz-Weiß-Fernsehempfängers entspr.) Farbinformationen für die Grundfarben übertragen und durch die Farbbildröhre im ↑ Fernsehempfänger zum Bild zusammengesetzt. Wegen der wenigen verfügbaren Fernsehkanäle und der großen Anzahl von Schwarz-Weiß-Fernsehempfängern muß ↑ Kompatibilität gewährleistet sein. Helligkeits- und Farbempfindung des Auges sind voneinander nicht unabhängig; für die Leuchtdichte Y gilt in Beziehung auf die Anteile R, G und B der Grundfarben Rot, Grün und Blau: $Y = 0{,}30\,R + 0{,}59\,G + 0{,}11\,B$.

Es genügt daher, von diesen 4 Informationen 3 zu übertragen und die 4. am Empfangsort zurückzugewinnen. Man überträgt das Leuchtdichtesignal E_Y, weil es für den Empfang mit Schwarz-Weiß-Fernsehempfängern unentbehrlich ist, und zusätzlich 2 Farbdifferenzsignale $(E_R - E_Y)$ und $(E_B - E_Y)$, aus denen dann im Empfänger das 3. *Farbwertsignal* E_G abgeleitet wird. Leuchtdichtesignal und Farbdifferenzsignale werden aus den Ausgangsspannungen der Farbfernsehkamera in einem – von dieser getrennten – *Farbcoder* gewonnen. Er enthält u. a. eine *Matrixschaltung*, ein Netzwerk von Widerständen, mit dessen Hilfe die Ausgangsspannungen der 3 Bildaufnahmeröhren im richtigen Verhältnis zueinander addiert bzw. subtrahiert werden. Alle Farbfernsehverfahren nutzen aus, daß das Auflösungsvermögen des Auges für Helligkeitsunterschiede weit größer als für Farbunterschiede ist und es infolgedessen genügt, lediglich das Leuchtdichtesignal bis zu höchsten beim Abtasten auftretenden Frequenzen (etwa 5 MHz) zu übertragen, während man bei den Farbdifferenzsignalen mit Frequenzen bis um 1 MHz und einer entspr. geringeren Bandbreite auskommt. Es ist daher möglich, mit den Farbdifferenzsignalen einen *Farbträger* zu modulieren und diesen am „frequenzhohen" Ende in das vom Leuchtdichtesignal beanspruchte Frequenzband normaler Fernsehkanalbreite einzuordnen; aus dem BAS-Signal wird damit das *FBAS-Signal*. Darin, wie der Farbträger mit den Farbdifferenzsignalen moduliert wird, unterscheiden sich die Farbfernsehsysteme. Gegenwärtig sind 3 in Gebrauch:

SECAM-System [Abk. für franz. *séq*uentiel *a m*émoire, etwa „aufeinanderfolgend(e Farbübertragung) mit Speicher"], angewendet u. a. in Frankreich, UdSSR, VR Polen, ČSSR, DDR: Es wird heute allg. in seiner günstigsten Variante SECAM IIIb eingesetzt, wobei die Farbdifferenzsignale zeilenweise nacheinander übertragen werden, in Zeile 1 z. B. $(E_R - E_Y)$, in Zeile 2 $(E_B - E_Y)$, in Zeile 3 wieder $(E_R - E_Y)$ usw. Da zum Empfang beide Farbdifferenzsignale gleichzeitig verfügbar sein müssen, wird in einer Verzögerungsleitung im Empfänger das Farbdifferenzsi-

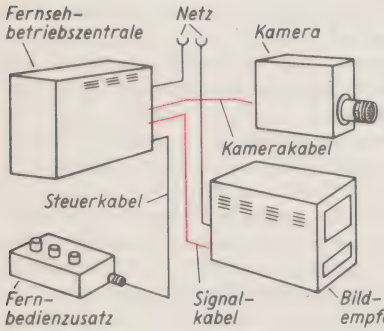
gnal der jeweils vorausgegangenen Zeile um eine Zeilendauer (64 μs) verzögert. Aus verzögertem (Zeile $n-1$) und direktem Signal (Zeile n) werden die Farbinformationen für den Empfänger zurückgewonnen. – Beim Sender werden die einer Matrixschaltung entommenen Farbdifferenzsignale verstärkt und über einen elektronischen Umschalter, der die Umschaltung von Zeile zu Zeile vornimmt, dem Modulator zugeleitet. Gleichzeitig werden Kennimpulse zugesetzt, die die Zeilenumschaltung in den Empfängern steuern. Der Farbträger wird frequenzmoduliert und ergibt in dieser Form mit Leuchtdichtesignal und Synchronisierimpulsen für Horizontal- und Vertikalablenkung das FBAS-Signal, mit dem der Sender moduliert wird. Außerdem wird am Anfang jeder 3. Zeile und am Ende jedes Halbbilds die Phase des modulierten Farbsignals für eine Zeilendauer um 180° gedreht. Dadurch erreicht man, daß der Farbträger sich bei Empfang mit Schwarz-Weiß-Empfängern möglichst wenig bemerkbar macht. Gegenüber Fehlern auf der Übertragungsstrecke ist das SECAM-System relativ unempfindlich; außerdem ermöglicht es die Konstruktion verhältnismäßig einfacher, leicht bedienbarer Empfänger.

NTSC-System [Abk. für engl. *N*ational *T*elevision *S*ystem *C*omittee, Nationales Fernseh-System-Komitee], erstes für den Farbfernsehrundfunk eingeführtes System, angewendet z. B. in den USA und Japan: Der Farbträger wird mit beiden Farbdifferenzsignalen gleichzeitig moduliert. Mit dem aus dem Farbdifferenzsignal ($E_R - E_Y$) abgeleiteten sog. *I*-Signal wird die Farbträgeramplitude unmittelbar und mit dem aus dem Farbdifferenzsignal ($E_B - E_Y$) abgeleiteten sog. *Q*-Signal der um 90° phasenverschobene Farbträger moduliert. Beide HF-Schwingungen werden gemischt, und der Farbträger, der in Schwarz-Weiß-Fernsehempfängern ein störendes Moirémuster hervorrufen würde, wird unterdrückt. Es entsteht ein HF-Signal, dessen Amplitude die Farbsättigung und dessen Phasenlage den Farbton ausdrückt. Zugesetzte *Farbsynchronisierimpulse* [engl. burst, etwa Stoß] sorgen dafür, daß in den Empfängern gleiche Phasenbeziehungen wie beim Sender hergestellt werden. Ein Mangel des NTSC-Systems besteht darin, daß sich Phasenänderungen auf der Übertragungsstrecke als Farbtonverfälschungen bemerkbar machen. Sie werden auf der Empfängerseite durch einen *Farbtonregler* kompensiert, dessen Einstellung dem Zuschauer überlassen bleibt.

PAL-Verfahren [Abk. für engl. *P*hase *A*lternating *L*ine, zeilenweise Phasenumkehrung], angewendet in mehreren westeuropäischen Ländern, u. a. in der BRD: Sein Grundgedanke ist, die Auswirkungen von Phasenfehlern dadurch zu verringern, daß eine der beiden Farbinformationen mittels eines elektronischen Schalters von Zeile zu Zeile in der Phase um 180° gedreht („umgepolt") wird. Durch Vergleich der Signale aufeinanderfolgender Zeilen kann ein Phasenfehler (mit gewissen Einschränkungen) kompensiert werden. Zwar wird durch das Zusammenwirken von jeweils 2 Zeilen die Auflösung in vertikaler Richtung verringert, dies vom Auge jedoch nicht empfunden (s. o.).

Während sich der Fernsehrundfunk mit Sendungen in Schwarz-Weiß oder

Farben drahtlos auf ↑ Fernsehkanälen im m- und dm-Wellenbereich an einen möglichst großen Betrachterkreis wendet, ist dieser beim *industriellen F.* begrenzt. Aufnahme- und Wiedergabeeinrichtungen sind meist durch Kabel verbunden, ein Begleitton entfällt. Aufgabe des industriellen F. ist die bildliche Wiedergabe von Vorgängen, die einer direkten Beobachtung nicht zugänglich sind, oder die zentrale Beobachtung mehrerer Vorgänge, die an voneinander entfernten Stellen ablaufen. Die *Kamera* einer industriellen Fernsehanlage (Abb. *3*) ist für Schwarz-Weiß oder Farb-Übertragung oder für Beobachtungen im infraroten Teil des Spektrums eingerichtet und häufig mit einer Bildaufnahmeröhre (bzw. Farbkameras mit mehreren) vom Vidikontyp bestückt. Eine elektronische Lichtwertautomatik gleicht Beleuchtungsunterschiede der beobachteten Objekte selbsttätig aus. Blenden- und Entfernungseinstellung der Kamera erfolgen meist durch Fernsteuerung über einen elektrischen Servoantrieb. Ein Kamerakabel, dessen Länge mehrere 100 m betragen kann, verbindet die Kamera mit der *Fernseh-Betriebszentrale* (auch *Kamera-Betriebs-*



Fernsehen, Abb. *3*: Prinzip einer industriellen Fernsehanlage

gerät genannt). Deren Aufgabe ist es, die Speise- und Steuerspannungen für die Kamera und die Synchronisierimpulse für die gesamte Anlage sowie ein für den nachgeschalteten Bildempfänger aufbereitetes BAS-Signal bereitzustellen. Der *Bildempfänger* gibt das von der Kamera aufgenommene Bild wieder. Er kann (bei entspr. Fernsehnorm) ein normaler Fernsehempfänger oder ein Spezialgerät sein (z. B. mit höherer oder niedrigerer Zeilenzahl, Verzicht auf Begleitton). Der Verbindung von Fernseh-Betriebszentrale und Bildempfänger dient ein Koaxialkabel, das mehrere Kilometer Länge haben kann. Wird die Fernseh-Betriebszentrale mit einem zusätzlichen Modulator ausgerüstet, so steht an ihrem Ausgang ein HF-Signal zur Verfügung, das nach dem Prinzip der Trägerfrequenztechnik über ein Koaxialkabel geschickt wird. Auf diese Weise lassen sich Entfernungen von mehreren 10 km überbrücken. Wählt man als Trägerfrequenz diejenige eines Fernsehkanals, so kann, entspr. Norm vorausgesetzt, ein normaler Fernsehempfänger zur Bildwiedergabe

benutzt werden. Auch die drahtlose Übertragung des in den VHF- oder UHF-Bereich umgesetzten BAS-Signals ist möglich (bei Fernsehanlagen der Raumfahrt z. B. über mehrere 10^7 km). Die technischen Parameter des Abtastvorgangs (z. B. Zeilenzahl, Anzahl der Bildwechsel, Anwendung des Zeilensprungverfahrens) richten sich nach der jeweiligen Aufgabenstellung. Es ist, je nach verlangter Bildqualität, eine Zeilenzahl von < 300 bis > 1000 gebräuchlich, jedoch werden technische Parameter bevorzugt, die den Fernsehnormen entsprechen. Industrielle Fernsehanlagen sind mit Ausnahme ihrer Elektronstrahlröhren halbleiterbestückt und lassen sich mannigfach kombinieren. So können mehrere Kameras abwechselnd auf einen Bildempfänger oder eine Kamera kann gleichzeitig oder abwechselnd auf mehrere Bildempfänger geschaltet werden, Verbindungen zwischen verschiedenen Kameras und Bildempfängern sind nach Wahl herstellbar u. a. Die gesamte Anlage wird dann von einem Taktgeber in der Fernseh-Betriebszentrale synchronisiert. Ein *Fernbedienzusatz* ermöglicht, die Anlage nicht nur von der – mit ihm durch ein Steuerkabel verbundenen – Fernseh-Betriebszentrale, sondern z. B. vom Aufstellungsort der Bildempfänger aus zu bedienen.

Anwendungsmöglichkeiten des industriellen F.

Bauwesen, Bergbau, Metallurgie: Beobachtung der wichtigsten Punkte einer Groß-Baustelle von einer Zentrale aus, von Bagger-Schürfelementen, Bandförderern, Lasten am Kran; Beobachtung und Kontrolle von Bohrlöchern (Bohrlochsonde), Rettungsmaßnahmen im Bergbau; Beobachtung von Walzstraßen, der Beschickung von Industrieöfen

Energiewirtschaft, Kerntechnik: Feuerraumbeobachtung; Bedienung von Manipulatoren, Arbeiten an Teilchenbeschleunigern, Beobachtung der aktiven Zone von Reaktoren

Maschinenbau: Dispatcherzentralen für Werkzeugmaschinen, Beobachtung von Taktstraßen, Koordinierung entfernt voneinander ablaufender Fertigungen

Verkehr, Transport: Beobachtung von Parkplätzen, Kreuzungen, Autobahnabschnitten, Flughafen-Abfertigungsvorfeldern, des Eisenbahn-Rangierverkehrs, von Bahnsteigen, -übergängen, Zugschlußkontrolle; Kontrolle von Schleusen, Schiffsanlegestellen; Bordgeräte auf Großraumschiffen zum Erleichtern von Manövern

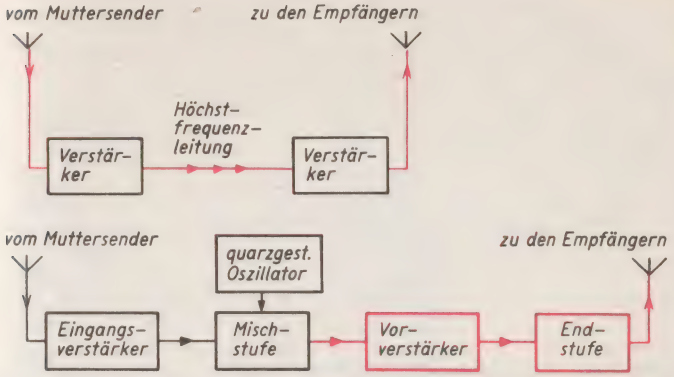
Raumfahrt: Bildübertragung aus bemannten Raumfahrzeugen, von Wettersatelliten und Raumsonden

Unterwasserfernsehen: Kontrolle und Überwachung von Hafenanlagen, Brücken, Staudämmen, Schiffsrümpfen; Wracksuche, Meeresforschung, insbes. Tiefseeforschung

Lehre, Forschung, Medizin: Vorführung von Schrift, Bildern, Experimenten, Operationen, Präparaten u. a. vor einem großen Betrachterkreis; Beobachtung unzugänglicher Stellen an Testfahrzeugen oder -flugzeugen; Übertragung von Röntgenbildern zur Auswertung bei Tageslicht oder durch mehrere Personen, Patienten-Überwachung

Geschichtliches. Das grundlegende Prinzip des F., die zeilenweise Bildabtastung und -zusammensetzung, wurde bereits in der Mitte des 19. Jh. angegeben; die erste technische Realisierungsmöglichkeit war die Nipkow-Scheibe (1883/84) von *Paul Nipkow.* 1888 schlug der russische Physiker *Alexander Grigorjewitsch Stoletow* vor, den lichtelektrischen Effekt für das F. auszunutzen. Es folgten Anregungen und Versuche des deutschen Physikers *Max Dieckmann* und des russischen Physikers *Boris Lwowitsch Rosing*, die Elektronenstrahlröhre für das F. zu verwenden (1906/11). Bis gegen Ende der zwanziger Jahre versuchte man, das F. mit mechanischer Bildabtastung und mechanischem Bildaufbau (Nipkow-Scheibe und daraus abgeleiteten Entwicklungen) zu verwirklichen. Entscheidende Fortschritte wurden erst ab 1930 durch den Übergang zum elektronischen F. erzielt. 1931 führte der deutsche Physiker *Manfred von Ardenne* auf der Berliner Funkausstellung die erste elektronische Fernsehanlage vor. Um die gleiche Zeit setzte die Entwicklung von Bildaufnahmeröhren ein. Fernsehversuchssender waren zu Beginn der dreißiger Jahre in Betrieb, ab 1935 wurden erste regelmäßige Fernsehprogramme gesendet (u. a. auch in Deutschland). Die Entwicklung des F. als Massenkommunikationsmittel und wichtiges Hilfsmittel in der Wirtschaft begann erst um 1950. Im Dezember 1952 wurde in der DDR mit regelmäßigen Sendungen begonnen. Obwohl das 1. Farbfernsehpatent 1904 erteilt und in der Folgezeit vereinzelt Farbfernsehversuche unternommen wurden, war es erst 1953 möglich, in den USA den Farbfernsehbetrieb aufzunehmen. Er wies, aus Profitsucht überhastet eingeführt, zahlreiche Mängel auf. Europäische Länder folgten 1967, nachdem das Farb-F. einen höheren Entwicklungsstand erreicht hatte. Das F. der DDR nahm anläßlich des 20. Jahrestages der DDR den Farbfernsehbetrieb auf.

Fernsehhilfsstation: Anlage zum Schließen von Versorgungslücken im Sendebereich von Fernsehsendern (Empfangsorte z. B. in tief eingeschnittenen Tälern, hinter Höhenzügen), die drahtlos die Signale des „*Muttersenders*" mit Hilfe einer in günstiger Empfangslage errichteten, hochwertigen Antenne aufnehmen, verstärken und über eine in den „toten" Bereich gerichtete Sendeantenne ausstrahlen. Durch die i. allg. auf < 1 W begrenzte Leistung, die gerichtete Strahlung oder bzw. und Wechsel der Polarisation werden Störungen entfernter, auf gleichen Kanälen arbeitender Fernsehsender vermieden. Eine *Fernsehumlenkanlage* arbeitet ohne Frequenzwandlung, d. h., sie strahlt im gleichen Kanal wie der Muttersender. Die Antennen der Anlage müssen daher so aufgestellt werden, daß keine Rückwirkungen der Sende- auf die Empfangsantenne auftreten. Im *Fernseh(frequenz)umsetzer* wird das Signal des Muttersenders dagegen mit Hilfe einer Mischstufe und eines quarzgesteuerten Oszillators in einen anderen Kanal umgesetzt. Die zu versorgenden Empfänger müssen auf diesen Kanal des Fernsehumsetzers abgestimmt sein. Schwankungen der Empfangsfeldstärke werden durch automatische Verstärkungsregelung ausgeglichen. – F.en sind mit Halbleiterbauelementen, in den Endstufen auch mit Röhren, bestückt und

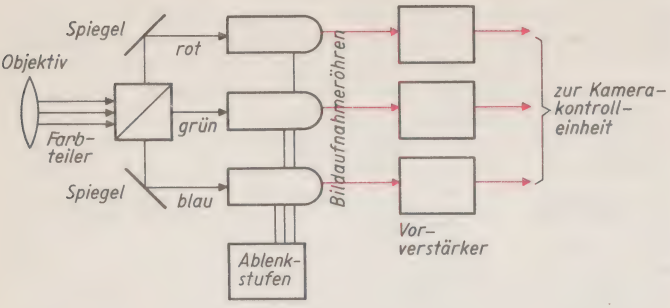


Blockschaltbilder einer Fernsehumlenkanlage (*oben*) und eines Fernsehumsetzers (*unten*)

arbeiten unbemannt. Auf dem Gebiet der DDR sind gegenwärtig weit über 400 Anlagen in Betrieb. F.en in unzugänglichen Gebieten werden teilweise durch Sonnenbatterien, Brennstoffelemente oder eine Radionuklidbatterie gespeist.

Fernsehkamera: derjenige Teil einer Fernsehaufnahme- und -übertragungseinrichtung, mit dessen Hilfe eine optische Szene in elektrische Bildsignale umgesetzt wird. Die F. i. w. S., der *Kamerazug*, umfaßt den *Kamerakopf* und eine *Kamerakontrolleinheit*. Im Kamerakopf, der eigentlichen F., wird das optische Bild durch ein (auswechselbares) Objektiv oder ein solches veränderbarer Brennweite (Varioobjektiv) erfaßt und von einer mit Fokussier- und Ablenkspulen ausgestatteten ↑ Bildaufnahmeröhre umgesetzt. Ebenfalls im Kamerakopf enthaltene ↑ Ablenkstufen steuern die zeilenweise Abtastung, und in ihm werden auch die Bildsignale noch vorverstärkt, bevor sie über Kabel der *Kamerakontrolleinheit* zugeleitet werden, wo das von der Bildaufnahmeröhre eingefangene Bild auf seine Qualität überprüft wird. Die Steuer- und die Speisespannungen erhält der Kamerakopf von der Kamerakontrolleinheit. Von hier aus gelangen die Signale nach erneuter Verstärkung und Kontrolle zur Regieeinrichtung.

In *Farb-F.* wird die aufzunehmende Szene in die Grundfarben Rot, Grün, Blau zerlegt. Das geschieht mit Hilfe des sog. *Lichtteilers* (auch *Farbteiler*), einer optischen Filtereinrichtung, die aus 2 dichroitischen Spiegeln (Spiegel, die Licht bestimmter Frequenzbereiche reflektieren, für das anderer hingegen durchlässig sind) besteht. In *Dreiröhren-Farb-F.* steuert jeder Farbauszug eine Bildaufnahmeröhre, an deren Ausgang der Grundfarbe entspr. Signale zur Vorverstärkung zur Verfügung stehen. Aus ihnen wird das Leuchtdichtesignal „rekonstruiert". *Vierröhren-Farb-F.* enthalten zusätzlich eine Bildaufnahmeröhre für die Gewinnung des



Schema einer Farbfernsehkamera (Dreiröhrenkamera)

Leuchtdichtesignals. Der Kamerakopf enthält einen optischen oder elektronischen Sucher, d. h. einen ↑ Monitor, auf dessen kleinem Bildschirm das von der Kamera aufgenommene Bild erscheint. Einrichtungen zur Verständigung zwischen den Bedienungen von Kamerakopf und Kamerakontrolleinheit sind vorgesehen. In F. werden Bildaufnahmeröhren vom Superorthikon- und Vidikon-Typ bevorzugt. „Röhrenlose" F., z. B. auf der Grundlage einer als integrierte Schaltung ausgeführten Matrix aus zahlreichen Fotodioden, und „Einröhren-Farb-F.", bei denen Farbteiler und elektronisches System der Bildaufnahmeröhre konstruktiv vereint sind, werden erprobt und entwickelt, aber erst in Sonderfällen eingesetzt. Durch Verwendung von Halbleiterbauelementen und integrierten Schaltungen konnten Abmessungen, Masse und Energieverbrauch der F. erheblich verringert werden; *Spezial-F.* (z. B. für Reportagezwecke) haben die Abmessungen einer Schmalfilmkamera, und es gibt Kameras, bei denen zur Erhöhung der Beweglichkeit das Kabel zur Kamerakontrolleinheit durch eine drahtlose Verbindung ersetzt worden ist, deren Geräte auf dem Rücken getragen werden.

Fernsehkanäle: international festgelegte Frequenzkanäle für die Ausstrahlung von Sendungen des Fernsehrundfunks. Nach der (auch für die DDR gültigen) ↑ Fernsehnorm des CCIR wurden festgelegt:

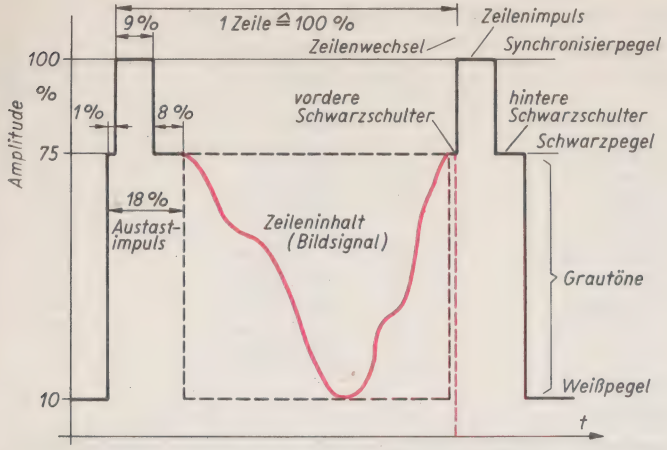
Bandbezeichnung	Frequenzbereich	Kanäle	Kanalbreite
I und III (VHF)	41 ··· 68 MHz	1 ··· 4	7 MHz (außer 1)
	174 ···230 MHz	5 ···12	7 MHz
IV/V (UHF)	470 ···790 MHz	21 ···60	8 MHz

Kanal 1 ist nur 6 MHz breit und wird daher nicht benutzt; Band IV/V entstand durch Zusammenlegen von 2 durch eine Lücke getrennten Teilbändern.

Sender des Fernsehens der DDR (Stand vom Sommer 1975)

I. Programm Sender	Kanal	II. Programm Sender	Kanal
Berlin	5	Berlin	27
Brocken	6	Brocken	34
Cottbus	4	Dequede	31
Dequede	12	Dresden	29
Dresden	10	Inselsberg	31
Helpter Berg	3	K.-M.-Stadt	32
Inselsberg	5	Leipzig	22
K.-M.-Stadt	8	Marlow	24
Leipzig	9	Schwerin	29
Löbau	27	Sonneberg	33
Marlow	8		
Schwerin	11		

Fernsehmikroskopie: Verknüpfung von Geräten und Verfahren der Mikroskopie und der Fernsehtechnik. Neben der Möglichkeit, Mikroskoptubus und Fernsehkamera durch ein Zwischenstück mechanisch und optisch zu verbinden, nutzt man vorwiegend Spezialmikroskope mit einer Elektronenstrahlröhre, in der ein sehr kleiner und heller Leuchtfleck einen Zeilenraster schreibt (vgl. Lichtpunktabtaster). Er wird durch die Mikroskopoptik stark verkleinert und auf das zu untersuchende Objekt abgebildet. Je nach Ausführung des Mikroskops und Art des Objekts fällt das von diesem durchgelassene oder reflektierte Licht auf einen Sekundärelektronenvervielfacher, der Signale zur synchronen Steuerung eines Bildwiedergabegeräts liefert. Auf dessen Bildschirm erscheint das vergrößerte Bild des Objekts. Helligkeit und Kontrast sind weitgehend unabhängig vom „eigentlichen" Mikroskop einstellbar, und ein Objekt kann gleichzeitig auf mehreren Bildschirmen betrachtet oder mittels Fernsehprojektion einem großen Zuschauerkreis zugänglich gemacht werden. Daraus ergeben sich wirkungsvolle Möglichkeiten der Veranschaulichung bei Vorlesungen, im Unterricht und für Forschungszwecke.
Fernsehnorm: Gesamtheit von national oder international vereinbarten technischen Parametern, deren Einhalten Voraussetzung zur Durchführung des Fernsehrundfunks ist. Es sind 8 Haupt-F.en in Gebrauch, die sich vor allem durch die Breite des Übertragungskanals, die Zeilenzahl (z. B. Großbritannien 405, USA, Kanada, Japan 525, Belgien, Frankreich u. a. 819 Zeilen), das Modulationsverfahren, den Frequenzabstand Bildträger-Tonträger u. a. unterscheiden. Die für Europa wichtigsten F.en sind die des *CCIR* [Abk. für franz. *C*omité *C*onsultatif *I*nternational des *R*adiocommunications, Internationaler beratender Ausschuß für das Funkwesen], nach der zahlreiche westeuropäische Länder und die DDR arbeiten, und die der *OIRT* [Abk. für franz. *O*rganisation *I*nternationale de *R*adiodiffusion et de *T*élévision, Internationale Rundfunk- und Fern-



Fernsehnorm: Ablaufschema der Horizontalsynchronisierung

sehorganisation], die u. a. von der UdSSR, der VR Polen und der ČSSR benutzt wird. CCIR- und OIRT-F. unterscheiden sich vor allem in der Kanalbreite (7 MHz bei CCIR-F., 8 MHz bei OIRT-F. im VHF-Bereich, allg. 8 MHz für den UHF-Bereich) und im Frequenzabstand Bildträger-Tonträger (5,5 MHz bei CCIR-F., 6,5 MHz bei OIRT-F.; daher ist in der DDR mit üblichen Fernsehempfängern kein Bild- und Tonempfang von Sendern nach OIRT-F. möglich). In den meisten anderen Parametern stimmen sie überein.

CCIR-F.: Die Breite des einem Sender zugebilligten Frequenzkanals beträgt 7 MHz im VHF-, 8 MHz im UHF-Bereich (über die Kanalaufteilung ↑ Fernsehkanäle). Die Frequenz des Tonträgers liegt 5,5 MHz über der des Bildträgers bei Amplitudenmodulation der Bild- und Frequenzmodulation des Tonsenders. Jedes Bild wird in 625 Zeilen (Halbbild 312,5 Zeilen) nach dem ↑ Zeilensprungsverfahren zerlegt, die Dauer t_Z einer Zeile beträgt 64 μs. In der Sekunde werden 25 Bilder (50 Halbbilder) übertragen.

Modulationsverfahren für den Bildsender ist Restseitenbandmodulation (↑ Fernsehen). Es wird *Negativmodulation* angewendet, d. h., dunklen Bildstellen entspricht eine größere, hellen eine kleinere Amplitude der modulierten HF-Schwingungen. Das hat u. a. den Vorteil, daß Störungen großer Amplitude sich nicht als (bes. unangenehm empfundene) helle, sondern als schwarze Punkte oder Punktfolgen auf dem Bildschirm bemerkbar machen. Für eine stabile Übertragung müssen bestimmte Pegel eingehalten werden. Mit der max. Amplitude der modulierten HF-Schwingungen (= 100 %) werden die Synchronisierimpulse ausgestrahlt (*Synchronisierpegel*); einer Amplitude von 75 % wird der *Schwarz-*

pegel zugeordnet. Der für die Synchronisierimpulse vorgesehene Bereich zwischen 75 % und 100 % („schwärzer als schwarz") bewirkt demnach auf alle Fälle ein Dunkeltasten oder Austasten des Elektronenstrahls in der Bildröhre. Eine Trägeramplitude von 10 % wird nicht unterschritten. Ihr entspricht der *Weißpegel*. Sämtliche für die Bildwiedergabe übertragenen Grauabstufungen zwischen Weiß und Schwarz liegen zwischen 10 % und 75 % der max. Amplitude.

Form und Anordnung der Synchronisierimpulse sind für die Übertragung bes. wichtige Kenngrößen einer F. Im Ablaufschema der Horizontalsynchronisierung (Abb.) liegt an den Flanken der *Horizontal-Synchronisierimpulse* (Zeilenimpulse) die vordere bzw. hintere *Schwarzschulter*. Sie tastet den Elektronenstrahl für eine Zeitspanne von kurz vor bis kurz nach dem Zeilenwechsel dunkel (*Austastimpuls*), während der Synchronisierimpuls den Strahlrücklauf auslöst. Insgesamt gehen durch diese Vorgänge 18 % der Zeilendauer t_z (= 100 %) verloren. Die *Vertikal-Synchronisierimpulse* (Bildimpulse) sind länger als die Horizontal-Synchronisierimpulse (dadurch Trennmöglichkeit im Fernsehempfänger). Um trotzdem die Horizontalsynchronisierung nicht zu stören, werden sie durch Lücken von der Dauer eines Horizontal-Synchronisierimpulses unterbrochen. Beim Zeilensprungverfahren besteht jedes Halbbild aus 312,5 Zeilen. Das hat zur Folge, daß bei „ungeraden" Halbbildern (Zeilen 1...3...5...) zwischen dem letzten Horizontal-Synchronisierimpuls und dem folgenden Vertikal-Synchronisierimpuls nur eine Zeitspanne von $t_z/2$ liegt. Das könnte das exakte Ineinanderfügen der Halbbilder stören. Mit *Ausgleichimpulsen*, die vor und nach dem Vertikal-Synchronisierimpuls mit doppelter Zeilenfrequenz eingefügt werden, wird, unabhängig davon, ob das ungerade oder gerade Halbbild übertragen wurde, das Wiedereinsetzen der Horizontalsynchronisation sichergestellt. Insgesamt wird beim Halbbildwechsel der Elektronenstrahl, beginnend mit dem 1. Ausgleichimpuls, für 20 Zeilen dunkelgetastet. Für das Seitenverhältnis der übertragenen Bilder schreiben alle F.en das Verhältnis 3 : 4 vor.

Farbfernsehverfahren müssen wegen der geforderten Kompatibilität der jeweiligen F. genügen. Darüber hinaus ergeben sich weitere Bedingungen, die zu erfüllen sind. Beim u. a. in der DDR eingeführten System SECAM IIIb sind z. B. Normwerte für die Lage des Farbträgers, für die zeitliche Zuordnung der Kennimpulse usw. festgelegt, ebenso für die Amplituden der zu übertragenden Signale usw.

Fernsehprojektion: stark vergrößerte Wiedergabe von Fernsehbildern auf einer Bildwand, deren Abmessungen die für Filmvorführungen üblichen erreichen kann. Zur F. benutzt man einen Fernsehempfänger mit spezieller Projektionsröhre, einer Elektronenstrahlröhre, auf deren kleinem Bildschirm (wenige Zentimeter Durchmesser) ein sehr helles und scharfes Bild erzeugt und durch ein Linsen- oder bzw. und Spiegelsystem auf die Bildwand projiziert wird. Beim *Eidophorverfahren* [griech. eidophor, etwa Lichtträger] passiert das Licht z. B. einer Bogenlampe eine dünne Ölschicht, die unter dem Einfluß eines vom BAS-Signal gesteuerten

zeilenweise abgelenkten Elektronenstrahls elektrisch geladen sowie örtlich wellenförmig deformiert wird und dadurch das hindurchtretende Licht beeinflußt. Bildgrößen von 9 m × 12 m wurden erreicht.
Jüngste Entwicklungen zielen darauf ab, Prinzipien der ↑ Elektronenstrahlröhre und des ↑ Laser zur Konstruktion von Laserprojektionsröhren zu nutzen, mit deren Hilfe beliebig große und helle Fernsehbilder möglich würden.
Die F. wird für Lehr- und Forschungszwecke (Wiedergabe für großen Zuschauerkreis), beim industriellen Fernsehen, zur Großprojektion von Radarbildern u. a. angewendet; für den Heimempfang erlangte sie bisher keine Bedeutung.

Fernsehtelefon ↑ Videotelefon.

Fernsehumlenkanlage ↑ Fernsehhilfsstation.

Fernsteuerungstechnik: Auslösung oder Steuerung von Fernwirkungen mittels i. allg. elektrischer Signale, deren Leistung bzw. Energie meistens erheblich geringer ist als Leistung bzw. Energie des gesteuerten Vorgangs. Die *Steuerkommandos* werden in einem *Kommandogeber* gewonnen und mit Mitteln der Nachrichtentechnik zum gesteuerten Objekt übertragen. *Funkfernsteuerung* liegt vor, wenn diese Übertragung auf drahtlosem Wege erfolgt. Um bei geringem Aufwand an Übertragungskanälen verschiedene Kommandos gleichzeitig oder nacheinander übertragen zu können, benutzt man verschieden kodierte Impulsgruppen oder verschiedene Tonfrequenzen, die im *Kommandoempfänger* des Objekts dekodiert bzw. durch Filter getrennt werden. Um hohe Störsicherheit bei gleichzeitiger Möglichkeit zahlreicher Kommandos zu erhalten, werden häufig je Steuerkommando Kombinationen aus 2 oder mehr Tonfrequenzen gewählt, so daß z. B. durch unterschiedliche Paarung von 5 Ausgangsfrequenzen 10 Kommandos gebildet werden können. Häufig sind auch Möglichkeiten zur Rückmeldung vom Objekt oder zur Fernmessung interessierender Parameter des Objekts gegeben. Bei *drahtgebundener Fernsteuerung* ist man bestrebt, vorhandene Leitungsnetze zu benutzen, etwa indem man die Steuerkommandos unter- oder oberhalb des Sprachfrequenzbands auf Fernsprechleitungen überträgt, sie dem Stromversorgungsnetz mit Mitteln der Trägerfrequenztechnik zuführt o. a. Die F. hat große Bedeutung für ausgedehnte Betriebs- und Produktionsanlagen, z. B. bei der Steuerung von Verbundnetzen (Fernsteuerung von Spitzenkraftwerken oder Umspannwerken), bei der Wasser-, Gas- und Ölversorgung. Die Fernsteuerung von Baumaschinen und Fördermitteln (z. B. Kranen, Baggern), Traktoren, Schrämmaschinen, schienengebundenen Verkehrsmitteln (z. B. Rangierlokomotiven) u. a. gewinnt zunehmend an Bedeutung. Werden durch Fernsteuerung vor allem die Bewegungen eines Objekts beeinflußt, so spricht man von ↑ Fernlenkung.

Fernwirktechnik: Sammelbez. für alle Verfahren, mit deren Hilfe entfernt ablaufende technische Vorgänge bewußt beeinflußt werden können. Zwischen dem zu beeinflussenden Objekt und der Leitstelle, von der aus diese Beeinflussung gesteuert wird, laufen i. allg. Informationen in beiden

Richtungen. Durch Fernmessung wird die Leitstelle über das Geschehen am Objekt sowie über Notwendigkeit und Ausführung von Steuerkommandos unterrichtet. In umgekehrter Richtung, von der Leitstelle zum Objekt, werden mit den Mitteln der ↑ Fernsteuerungstechnik Steuerkommandos übertragen. Die Wechselwirkung von Fernmessung und -steuerung kann über den Menschen als Zwischenglied, aber auch selbsttätig ablaufen. Neben pneumatischen und hydraulischen Mitteln werden in der F. vor allem, auf große Entfernung ausschl., die Methoden und Geräte der drahtgebundenen und drahtlosen Nachrichtentechnik angewendet und dazu nach Möglichkeit bereits vorhandene Nachrichtenverbindungen (z. B. Fernsprechnetz, Richtfunkstrecken) herangezogen.

Festkörperschaltkreis ↑ Mikroelektronik.

Festzielunterdrückung ↑ Radar.

FET ↑ Transistor 2.

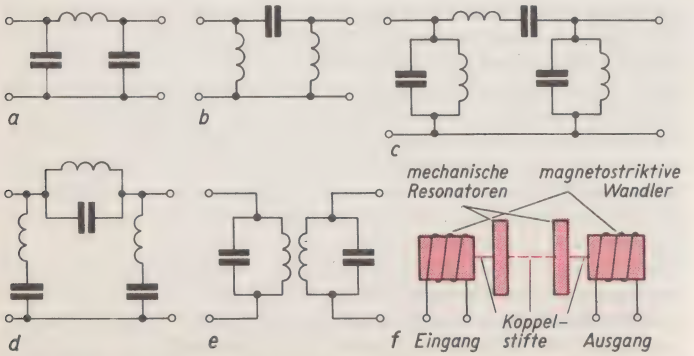
Filmabtaster: Einrichtung zur Fernsehübertragung von Filmen, häufig eine Kombination aus Filmprojektor und Bildaufnahmeröhre (bevorzugt vom Vidikontyp). Das Filmbild wird auf die Speicherplatte der Bildaufnahmeröhre projiziert; aufgrund deren Speicherwirkung wirken sich der ruckweise Filmtransport und die während des Filmbildwechsels in den optischen Strahlengang geführte Blende nicht störend aus, sofern die Bildwechselfrequenzen des Films und des Abtastvorgangs übereinstimmen. Dazu wird bei CCIR-Fernsehnorm die Filmbildwechselfrequenz von normalerweise 24 auf 25 Bildwechsel/s erhöht; der Betrachter empfindet den geringen Geschwindigkeitsunterschied nicht.

Wird als F. ein ↑ Lichtpunktabtaster benutzt, so muß der Film stetig transportiert werden; denn die Speicherwirkung der Bildaufnahmeröhre entfällt und die – gegenüber dem elektronisch gesteuerten Bildwechsel in ihr – lange Zeitspanne für den mechanischen Filmtransport ginge für die Bildabtastung verloren. Damit sich die Halbbilder des Zeilensprungverfahrens trotzdem richtig ineinanderfügen, muß die stetige Filmbewegung beim Abtasten ausgeglichen werden. Das läßt sich durch einen Spiegel im optischen Strahlengang erreichen, der der Filmbewegung folgt und beim Bildwechsel periodisch um einen entspr. Winkel gekippt wird. Das gleiche Resultat ist durch eine bewegte Blende zu erzielen, die jeweils ein Linsensystem des in diesem Fall doppelt ausgeführten Objektivs freigibt. Bei elektronischem Ausgleich der Filmbewegung wird die Vertikalbewegung des Elektronenstrahls synchron mit der Filmbewegung so gesteuert, daß die Halbbilder ineinandergeschachtelt werden. Die Abnahme des Tones erfolgt in der beim Tonfilm üblichen Weise.

Filmschaltkreis ↑ Mikroelektronik.

Filter: ↑ Vierpol, mit dessen Hilfe Wechselspannungen und -ströme eines bestimmten Frequenzbereichs möglichst gedämpft (in diesem Fall *Sperrbereich* genannt) oder möglichst ungehindert durchgelassen werden sollen (in diesem Fall *Durchlaßbereich* genannt). F. sind meist aus Induktivitäten (Spulen) oder Widerständen und aus Kapazitäten (Kondensatoren) aufgebaut. Je nach Zusammenschalten und Bemessen dieser Bauele-

mente ergeben sich F. unterschiedlichen Durchlaß- und Sperrverhaltens; folgende Grundtypen sind unterscheidbar:
Tiefpaß-F. (Abb. *a*) haben einen Durchlaßbereich von Spannungen mit der Frequenz 0 bis zu einer Grenzfrequenz f_g, während Spannungen mit Frequenzen $> f_g$ gesperrt werden. Der Durchlaßbereich von *Hochpaß-F.* (Abb. *b*) erstreckt sich von Spannungen mit der Grenzfrequenz f_g bis zu $f = \infty$, während Spannungen mit Frequenzen $< f_g$ gesperrt werden. Bei *Bandpässen* oder *Bandpaß-F.* (Abb. *c*) liegt der Durchlaßbereich zwischen 2 Frequenzen f_1 und f_2, an die sich Sperrbereiche anschließen. Umgekehrt haben *Bandsperren* (Abb. *d*) einen Sperrbereich zwischen 2 Frequenzen f_1 und f_2, und Durchlaßbereiche schließen sich an. *Band-F.* haben die Aufgabe, Wechselspannungen eines sehr schmalen Frequenzbands (z. B. den von einem Sender belegten Frequenzkanal) möglichst gleichmäßig zu übertragen, alle anderen dagegen zu unterdrücken. Band-F., die z. B. in den ZF-Verstärkern der meisten Funkempfänger enthalten sind, bestehen aus 2 oder mehr auf die gleiche Frequenz eingestellten Schwingungskreisen, die miteinander gekoppelt sind. Dies kann induktiv (über die Gegeninduktivität der Schwingungskreisspulen, Abb. *e*), kapazitiv durch einen Kondensator oder galvanisch durch eine direkte, leitende Verbindung geschehen. Durch Verändern der Kopplung oder durch zusätzliche Dämpfung (z. B. Zuschalten eines Widerstands) läßt sich das Durchlaßverhalten des Band-F., insbes. die ↑ Bandbreite, verändern. Neben F. auf nur elektrischer Grundlage haben F. größte Bedeutung erlangt, in denen die zu übertragende Energieform vorübergehend gewandelt wird. *Piezo-F.*, als F. bis zu extrem geringen Bandbreiten nutzbar, beruhen auf dem ↑ piezoelektrischen Effekt. Sie sind mit Quarzkristallen („*Quarz-F.*") oder mit aus keramischen Sinterkörpern bestehenden Resonatoren versehen. Eine Veränderung der Bandbreite ist möglich.



Tiefpaßfilter (*a*), Hochpaßfilter (*b*), Bandpaßfilter (*c*), Bandsperre (*d*), Bandfilter mit induktiver Kopplung (*e*), magnetomechanisches Filter (*f*)

Magnetomechanische F. nutzen die Magnetostriktion, d. h. die durch wechselnde Magnetisierung verursachte Änderung der Abmessungen ferromagnetischer Stoffe, z. B. von Nickelscheiben oder -stäben. Die in einem magnetostriktiven Wandler erregten mechanischen Schwingungen durchlaufen mehrere mechanische Resonatoren und werden durch Umkehrung des magnetostriktiven Effekts in elektrische Signale rückgewandelt. Es sind sehr niedrige Bandbreiten erreichbar.

Fischerei-Echograph, Fischlupe und **Fischsichtgerät** ↑ Ultraschallortung.

Flächenwiderstand, Kurzz. R_F: Hilfsbegriff der Mikroelektronik zur Berechnung und Messung von Filmwiderständen. Es ist $R_F = \varphi/d$, worin φ den spezifischen Widerstand und d die Dicke des Films bedeuten. Für den Widerstand R eines Films der Länge l und der Breite b gilt $R = R_F \cdot l/b$. Für $l = b$ (quadratische Filmfläche) wird $R_F = R$. R_F erscheint als der zwischen gegenüberliegenden Kanten eines Quadrats beliebiger Größe gemessene Widerstand und ist damit leicht zu ermitteln. Für Widerstände in Halbleiterblocktechnik wird der Begriff des F. sinngemäß angewendet, wobei an die Stelle von d die Diffusionstiefe tritt.

Flammenwächter: fotoelektronisches Gerät zur Überwachung von Flammen und Brennern in Heizungs- und Kesselanlagen. Es ähnelt in seiner Wirkungsweise dem ↑ Dämmerungsschalter, kontrolliert jedoch lediglich das Vorhandensein einer Flamme und signalisiert ihr Verlöschen. F. sind meistens so ausgelegt, daß sie darüber hinaus beim Erlöschen der Flamme die Brennstoffzufuhr unterbrechen (sonst Explosionsgefahr bei erneutem Zünden) und die Zündeinrichtung bis zum Bekanntwerden des Fehlers blockieren.

Flat Pack ↑ integrierte Schaltung.

Flimmerpeilung ↑ Radar.

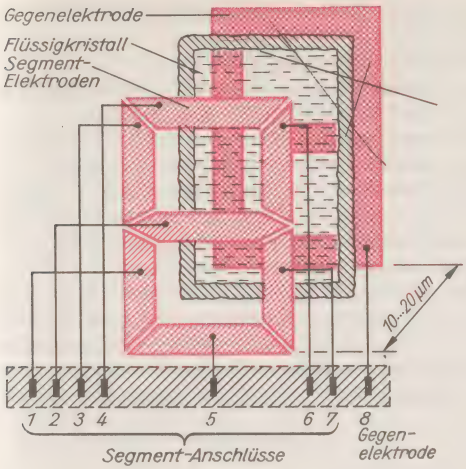
Flip-Chip-Technik [engl. etwa „Höcker"-(auf)-„Scheibchen"]: Verfahren zur Herstellung von Schaltkreis-Anschlüssen, dadurch charakterisiert, daß an den künftigen Anschlußstellen eines ↑ Chips metallische Höcker auflegiert werden, die dann mit den Gehäuseanschlüssen oder Anschlußstellen von Filmschaltungen durch Ultraschallschweißen oder Löten verbunden werden.

Flip-Flop ↑ Multivibrator.

Flugfunkverkehr: beweglicher Funkdienst von Bordfunkstellen der Luftfahrt mit Bodenfunkstellen oder zwischen Bordfunkstellen zum Austausch von Nachrichten und Meldungen insbes. für Zwecke der Flugsicherung. Der F. wird in international festgelegten Frequenzbändern abgewickelt, die für den Fernverkehr im Grenz- und KW-Bereich (2 bis etwa 25 MHz), für den Nahverkehr im m-Wellenbereich liegen (in Europa 118 bis 136 MHz). Zusätzlich werden häufig, bes. auf Ozeanstrecken, auf LW arbeitende Fernschreib- und Bildfunkempfänger für Wettermeldungen und -karten eingesetzt.

Die Bordgeräte müssen unter dem Gesichtspunkt höchster Zuverlässigkeit, leichter Bedienbarkeit, geringer Masse und niedrigen Raumbedarfs konstruiert sein. Für Grenz- und Kurzwellen sind sie häufig als ↑ Trans-

ceiver ausgeführt. Die für den F. in Betracht kommenden Sende- und Empfangsfrequenzen werden durch Quarze eingestellt und stabilisiert. Die Kanalwahl erfolgt durch Schalter, die Feinabstimmung von Sender, Empfänger und Antenne automatisch. Betriebsarten sind Telegrafie (*A 1*) und Sprechverkehr (*A 3*). Die Zeit für einen Frequenzwechsel beträgt < 10 s, die Sendeleistung $\geqq 100$ W.
Nahverbindungen werden ausschl. im Sprechverkehr (Betriebsart *A 3*) hergestellt. Es stehen – bei einem Kanalabstand von 100 kHz bzw. 50 kHz (zur Einführung vorgesehen) – 180 bzw. 360 Kanäle zur Verfügung. Der Betrieb wird als Einkanal-Simplexverkehr (vgl. Sprechfunk) durchgeführt, doch können häufig Sender und Empfänger auch auf verschiedenen Frequenzen arbeiten. Die Kanalwahl wird mittels Schaltern vorgenommen, die Feinabstimmung von Sender und Empfänger erfolgt automatisch. Die Sendeleistung beträgt bis 25 W. Der Empfänger ist häufig so ausgelegt, daß er auch auf die Frequenzen der ↑ Funkfeuer im m-Wellenbereich und des ↑ Instrumentenlandesystems abgestimmt werden kann.
Für Bodenstationen gelten Masse- und Raumeinschränkungen weniger. Der technische Aufwand darf daher höher sein als in Bordanlagen. Die Senderleistung ist etwa 10fach größer als die der Bordanlagen; meistens sind fest abgestimmte Empfänger für alle einem bestimmten Flughafen oder Kontrollpunkt zugeteilten Frequenzen vorhanden.
Flugwegschreiber ↑ Decca-Verfahren.
Flüssigkristallanzeigeelement: Bauelement zur Anzeige von Ziffern, Buchstaben, Zeichen usw. auf der Basis einer kristallinen Flüssigkeit, einer flüssigen Substanz, die sich unter bestimmten Bedingungen optisch wie ein Kristall verhält. Bei Anlegen eines elektrischen Feldes von etwa 10 kV/cm erscheint die kristalline Flüssigkeit im Bereich des elektrischen Feldes in durch- oder auffallendem Licht getrübt (Änderung der Brechungsindizes im elektrischen Feld, sog. dynamische Streuung). Dies wird für Anzeigeelemente genutzt (Abb.):
7 voneinander isolierte, lichtdurchlässige Segmentelektroden, die z. B. auf einer Glasplatte angeordnet sind, die Flüssigkristallschicht und die Gegenelektrode bilden eine hermetisch abgeschlossene, flächenhafte Einheit. Je nach der zwischen Segment-Anschlüssen und Gegenelektrode liegenden Steuerspannung erscheint ein Zeichen, bei Ansteuerung der Segment-Elektroden 2, 3, 4, 5, 6, 7, z. B. eine „9". F. werden als Reflexionstyp für reflektiertes Umgebungslicht und als Transmissionstyp für durchscheinendes, oft von einer bes. Lichtquelle erzeugtes Licht, gefertigt. Die Zeichengrößen liegen i. allg. bei mehreren Millimetern. F. können zur Meßwertanzeige, in Kleinrechnern, elektronischen Uhren usw. verwendet werden. Sie zeichnen sich durch minimalen Leistungsbedarf ($< 100\ \mu$W) aus; nachteilig ist die relativ große Gleichspannung von 20 ... 30 V. Bestrebungen, F. in matrixähnlicher Anordnung z. B. für Bildschirmdarstellungen zu nutzen, scheitern noch an der zu langen An- bzw. Abklingzeit der Anzeige von etwa 50 ms.



Aufbauprinzip eines Flüssigkristallanzeigeelements

Fokussierung ↑ Elektronenstrahlröhre.

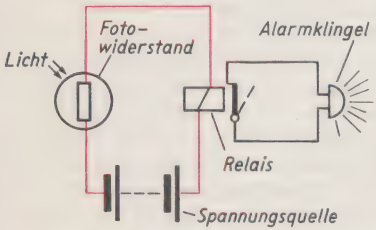
Fotoeffekt und **-elektronen** ↑ lichtelektrischer Effekt.

Fotoelement: Bauelement auf der Grundlage des inneren ↑ lichtelektrischen Effekts in Verbindung mit der Sperrwirkung eines *pn*-Übergangs zur Gewinnung einer elektrischen Spannung. Fällt sichtbares, infrarotes oder ultraviolettes Licht auf den *pn*-Übergang, so werden Ladungsträger erzeugt. Unter dem Einfluß der Diffusionsspannung (↑ *pn*-Übergang) treten die Elektronen nur in das *n*-Gebiet, die Defektelektronen nur in das *p*-Gebiet ein. Dadurch sinkt die Diffusionsspannung, und an den äußeren Klemmen entsteht eine elektrische Spannung (< 1 V), die bei äußerer leitender Verbindung der beiden Klemmen einen von der Fläche des *pn*-Übergangs und der Beleuchtungsstärke abhängigen Fotostrom hervorruft.

Der *pn*-Übergang liegt zwischen Halbleitermaterial und einer leitenden, lichtdurchlässigen Deckelektrode oder im Halbleitermaterial selbst in unmittelbarer Oberflächennähe. Als Halbleiter dienen z. B. Selen, Germanium, Gallium-, Indium- oder Kadmiumverbindungen. Wahl und Behandlung des Ausgangsstoffs bestimmen den Teil des Spektrums, in dem das F. am empfindlichsten ist. Bes. Bedeutung haben *Silizium-F.* erlangt, deren Wirkungsgrad der Energieumwandlung 12 bis 15 % beträgt. F. werden in der Meßtechnik (z. B. fotoelektrischer Belichtungsmesser) und für fotoelektronische Geräte der Steuerungs- und Regelungstechnik verwendet. Insbes. Silizium-F. eignen sich zur Stromversorgung elektrischer Geräte geringen Leistungsbedarfs, wie automatische Wetterstationen, Kleinfunkgeräte, Verstärker in Überland-Fernsprechleitungen, Fernsehhilfsstationen, Bordanlagen in Raumflugkörpern (vgl. Sonnenbatterie).

Fotoemission ↑ Elektronenemission.

Fotolack, -lithografie, -maske und **-schablone** ↑ Halbleitertechnologie.
Fotostrom ↑ lichtelektrischer Effekt.
Fotovervielfacher ↑ Sekundärelektronenvervielfacher.
Fotowiderstand: auf dem inneren ↑ lichtelektrischen Effekt beruhendes Halbleiterbauelement, dessen Widerstand sich bei Bestrahlung mit sichtbarem, IR- oder UV-Licht sowie auch mit Röntgen- oder Gammastrahlen vermindert. Als Halbleiterschicht bzw. -kristall verwendet man z. B. Kadmium- oder Bleisulfid, Kadmium- oder Bleiselenid auf einem Trägerplättchen. Das Material bestimmt denjenigen Teil des Spektrums, in dem der F. am empfindlichsten ist (Bleisulfid z. B. im Infrarotbereich). F. können mit Gleich- und Wechselspannung betrieben werden. Ihre Trägheit schließt den Einsatz bei Beleuchtungsstärkeänderungen einer Frequenz von $> 10^3$ Hz aus. Aufgrund der Widerstandsverringerung – das Verhältnis Dunkelwiderstand/Hellwiderstand kann bis $10^6 : 1$ und mehr betragen – fließt durch einen beleuchteten F. Strom von mehreren Milliampere, der ohne nachgeschalteten Verstärker unmittelbar einen Steuervorgang auszulösen imstande ist. F. werden deshalb in fotoelektrischen Signal-, Kontroll- und Steuerungseinrichtungen verwendet (vgl. Lichtschranke, Dämmerungsschalter).



Grundschaltung eines Fotowiderstands, hier in einer Alarmanlage

Fotozelle: Bauelement auf der Grundlage des äußeren ↑ lichtelektrischen Effekts, das sichtbares, IR- und UV-Licht in Strom bzw. Spannung umwandelt. Die *Hochvakuum-F.* enthält in einem evakuierten Glaskolben eine großflächige Katode (z. B. aus Zäsium, Kalium, Kadmium), davor eine netz- oder ringförmige, den Lichteintritt wenig behindernde Anode (Abb. *1*). Bei Lichteinfall emittiert die Katode Elektronen, die zur positiven Anode fliegen, d. h., es fließt ein Fotostrom. Ein meist vernachlässigbarer *Dunkelstrom* tritt bereits bei unbelichteter Katode und Zimmertemperatur auf. Der Fotostrom von Hochvakuum-F. ist der Be-

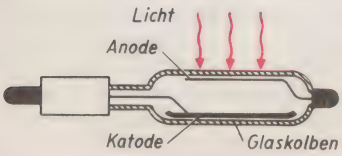


Abb. *1*: Fotozelle

leuchtungsstärke proportional, erreicht einige Mikroampere und folgt Beleuchtungsstärkeänderungen bis zu höchsten Frequenzen. 5- bis 10mal so starker Fotostrom entsteht bei sonst gleichen Bedingungen in *gasgefüllten F.* aufgrund der teilweisen Ionisation des Füllgases (Edelgas unter niedrigem Druck). Gasgefüllte F. sind jedoch wegen der Trägheit der beteiligten Ionen nur bis zu Frequenzen um 10 kHz verwendbar. Durch entspr. Wahl des Katodenmaterials läßt sich die größte Empfindlichkeit einer F. in bestimmte Teile des Spektrums legen; so ist z. B. eine Zäsiumkatode bes. rot- und infrarotempfindlich, eine Kaliumkatode blauempfindlich. In der Grundschaltung der F. (Abb. 2) kann an R eine dem Fotostrom proportionale Spannung U_{St} zur Steuerung eines Verstärkers abgenommen werden. F. wurden in zahlreichen fotoelektronischen Steuerungsanlagen, in Zählvorrichtungen u. a. als ↑ Lichtschranke, in Tonfilmwiedergabegeräten und anfangs auch in Fernsehaufnahmeeinrichtungen verwendet, verlieren aber durch lichtelektrische Halbleiterbauelemente (↑ Fotoelement, Fotowiderstand) an Bedeutung.

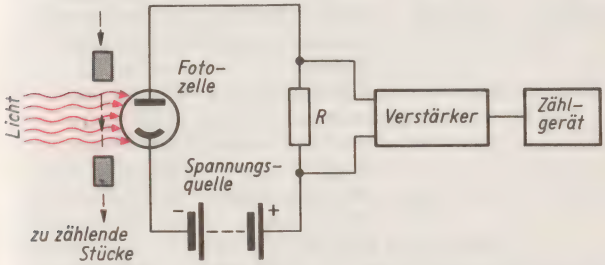


Abb. 2: Grundschaltung einer Fotozelle, hier in einer Zählvorrichtung

Fremdpeilung ↑ Funkpeilung.

Frequenz: bei periodischen Vorgängen Anzahl der vollständigen Schwingungen innerhalb einer Sekunde. Einheit der F. ist das Hertz (Hz), so benannt nach dem deutschen Physiker *Heinrich Hertz*. Ferner ist:

1 Kilohertz (kHz)	$= 10^3$ Hz
1 Megahertz (MHz)	$= 10^6$ Hz $= 10^3$ kHz
1 Gigahertz (GHz)	$= 10^9$ Hz $= 10^6$ kHz $= 10^3$ MHz

Der Begriff *Nieder-F.*, Abk. *NF*, umfaßt Wechselspannungen und -ströme mit einer F. zwischen 16 Hz und 16000 bis 20000 Hz. Da niederfrequente Schwingungen nach Umwandlung in Schallwellen mit dem Ohr wahrgenommen werden können, bez. man die Nieder-F. auch als *Ton-F.* Der Bereich der *Hoch-F.* Abk. *HF.*, umfaßt Wechselspannungen und -ströme sowie elektromagnetische Schwingungen mit einer F. zwischen 10 kHz und 300 MHz, der Bereich der *Höchst-F.* solche mit einer F. $>$ 300 MHz.

Frequenzbereiche: international nicht einheitlich gehandhabte Unterscheidung der im Funkverkehr genutzten Frequenzbänder mit dem Bestreben, Bereiche ähnlicher Ausbreitungsbedingungen durch eine Bez. kenntlich zu machen.

Gebräuchliche Einteilung der Frequenzbereiche

Frequenz	Wellenlänge	Bezeichnung deutsch	Bezeichnung englisch
<30 kHz	$>10^4$ m	Längstwellen	VLF (Very Low Frequencies)
$30\cdots300$ kHz	$10^4\cdots10^3$ m	Langwellen (LW)	LF (Low Frequencies)
$300\cdots1\,500$ kHz	$10^3\cdots200$ m	Mittelwellen (MW)	MF (Medium Frequencies)
$1\,500\cdots3\,000$ kHz	$200\cdots100$ m	Grenzwellen	–
$3\cdots30$ MHz	$100\cdots10$ m	Kurzwellen (KW)	HF (High Frequencies)
$30\cdots300$ MHz	$10\cdots1$ m	Meterwellen (m), Ultrakurzwellen (UKW)	VHF (Very High Frequencies)
$0{,}3\cdots3$ GHz	$100\cdots10$ cm	Dezimeterwellen (dm)	UHF (Ultra High Frequencies)
$3\cdots30$ GHz	$10\cdots1$ cm	Zentimeterwellen (cm)	SHF (Super High Frequencies)
$30\cdots300$ GHz	$10\cdots1$ mm	Millimeterwellen (mm)	EHF (Extremely High Frequencies)

Häufig werden die Mittelwellen bis 3 MHz (Wegfall der Grenzwellen) gerechnet und Frequenzen >300 MHz als *Höchstfrequenzbereich* bez. Die cm- und mm-Wellen faßt man unter dem Begriff *Mikrowellen* zusammen (<10 cm $\triangleq >3$ GHz).

Frequenzhub ↑ Modulation.

Frequenzteiler: Baustufe, mit deren Hilfe die Frequenz einer gegebenen Schwingung ganzzahlig unterteilt werden kann. Als F. kann ein ↑ Oszillator verwendet werden, der ungefähr auf die gewünschte Frequenz, z. B. $f/2$, abgestimmt ist und durch eine von außen zugeführte Schwingung der Frequenz f synchronisiert wird. Häufig werden, vor allem zur Frequenzteilung von Impulsfolgen, Flip-Flop-Anordnungen (vgl. Multivibrator) in Form integrierter Schaltungen benutzt. Jede Stufe halbiert die Frequenz der Impulsfolge; bei Reihenschaltung mehrerer Stufen tritt am Ausgang der k-ten Stufe der $\frac{1}{2^k}$-te Teil (k ganzzahlig) der Eingangsfrequenz auf. Dazwischenliegende Teilverhältnisse sind erreichbar, indem Ausgangsimpulse der Flip-Flop-Stufen zum Eingang vorausgegangener Stufen zurückgeführt werden. ↑ Zählschaltungen werden gleichfalls als F. verwendet. F. werden u. a. in Taktgebern, in der Meßtechnik und für elektronische Uhren benötigt.

Frequenzumsetzung ↑ Mischung.

Frequenzumtastung: Funkbetriebsart für Telegrafie und Fernschreiben (Betriebsart *F 1*), bei der im Unterschied zur Ein-Aus-Tastung des Senders z. B. bei der Übermittlung von Morsezeichen Zeichen- und Pausenschritte dadurch gekennzeichnet werden, daß der Sender abwechselnd 2 symmetrisch zu einer nicht gesendeten „Mittenfrequenz" liegende Frequenzen (z. B. ± 400 Hz oder ± 140 Hz) ausstrahlt. Die eine der beiden Frequenzen ist den Zeichen-, die andere den Pausenschritten zugeordnet. Die F. hat den Vorteil weitgehender Unempfindlichkeit gegenüber durch Störungen verursachten Übertragungsfehlern. Wird der Sender statt zwischen 2 zwischen 2 × 2 Frequenzen umgetastet (z. B. ± 200 und ± 400 Hz), so können 2 Nachrichten gleichzeitig übermittelt werden. Für die gleichzeitige Übertragung der Zeichen- und Pausenschritte beider Nachrichten sind vor allem 2 Codes, das amerikanische *Diplex-* und das britische *Duoplexverfahren*, gebräuchlich.

Frequenzverteilungsplan: international vereinbarte Aufteilung der für Funkdienste vorgesehenen Frequenzen. Der F. ist so aufgestellt, daß jedem Funkdienst für seine speziellen Aufgaben möglichst geeignete Frequenzen zur Verfügung stehen. So sind Frequenzbereiche zugeteilt für: Hörrundfunk, Fernsehen, Navigationsfunkdienste, feste Funkdienste, See-, Flug- und bewegliche Landfunkdienste, Notrufe, Radiosonden, Verkehr mit Satelliten und Raumfahrzeugen, Ausstrahlung von Zeitzeichen und Normalfrequenzen, Industrie-HF-Generatoren, Amateurfunk, Radar u. a. Geographisch wird zwischen Regionen unterschieden, in denen die Frequenzaufteilung Unterschiede aufweist. Es zählen zur
Region 1: Europa, asiatische UdSSR, Afrika
Region 2: Amerika, Nordost-Pazifik
Region 3: Asien (außer Region 1), Australien, Pazifik (außer Region 2)

Frequenzverteilungsplan für Hörrundfunk, Fernsehen und Amateurfunk

Frequenz	nähere Bezeichnung	Bemerkungen
	Hörrundfunksender	
150 ··· 285 kHz	„Langwelle"	nur Region 1
525 ··· 1605 kHz	„Mittelwelle"	
2300 ··· 2498 kHz		
3200 ··· 3400 kHz		bes. in tropischen
3950 ··· 4000 kHz		Gebieten
4750 ··· 5060 kHz		
6000 ··· 6200 kHz		„49-m-Band"
7100 ··· 7300 kHz		„41-m-Band"
9500 ··· 9755 kHz		„31-m-Band"
11700 ··· 11975 kHz	„Kurzwelle"	„25-m-Band"
15100 ··· 15450 kHz		„19-m-Band"
17700 ··· 17900 kHz		„16-m-Band"
21450 ··· 21750 kHz		„13-m-Band"

Frequenz	nähere Bezeichnung	Bemerkungen
25 600 · · · 26 100 kHz	„Kurzwelle"	„11-m-Band"
87,5 · · · 100 MHz	„UKW"	(USA bis 108 MHz)
	Fernsehsender	
41 · · · 68 MHz	Kanäle 1 · · · 4	(VHF)
174 · · · 230 MHz	Kanäle 5 · · · 12	(VHF)
470 · · · 790 MHz	Kanäle 21 · · · 60	(UHF)
	Amateurfunk	
1 800 · · · 2 000 kHz	Asien, Australien, Ozeanien, Amerika	„160-m-Band"
3 500 · · · 3 800 kHz	Europa, Afrika	„80-m-Band"
3 500 · · · 4 000 kHz	Amerika	„80-m-Band"
7 000 · · · 7 100 kHz		„40-m-Band"
7 100 · · · 7 300 kHz	Amerika	„40-m-Band"
14 000 · · · 14 350 kHz		„20-m-Band"
21 000 · · · 21 450 kHz		„15-m-Band"
28 000 · · · 29 700 kHz		„10-m-Band"
50 · · · 54 MHz	außer Europa und Afrika	
144 · · · 146 MHz		„2-m-Band"
420 · · · 460 MHz		„70-cm-Band"
1 215 · · · 1 300 MHz		
2 300 · · · 2 450 MHz		
5 650 · · · 5 850 MHz		
10 000 · · · 10 500 MHz		

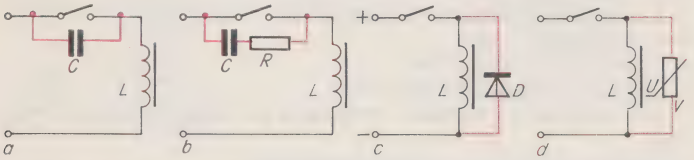
Frequenzvervielfacher: Einrichtung oder Baustufe, mit deren Hilfe ganzzahlige Vielfache von Schwingungen einer gegebenen Frequenz gewonnen werden können. Im F. wird einem Bauelement mit nichtlinearer Kennlinie, z. B. eine Halbleiterdiode oder ein Transistor, die zu vervielfachende Frequenz als Spannung oder Strom zugeführt. Bei großer Aussteuerung treten infolge der Kennlinienkrümmung im Ausgangskreis ↑ Oberschwingungen auf. Die gewünschte Frequenz wird durch einen auf sie abgestimmten Schwingungskreis ausgesiebt. *Frequenzverdoppler* sind bes. häufig, *Frequenzverdreifacher(-Stufen)* gleichfalls üblich. Zur Vervielfachung auf Oberschwingungen höherer Ordnung werden meist mehrere F.-Stufen hintereinandergeschaltet, für eine Verzwölffachung z. B. 2 Verdoppler und 1 Verdreifacherstufe. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, einen auf annähernd der gewünschten Frequenz schwingenden Oszillator durch eine ganzzahlig niedrigere Grundfrequenz zu synchronisieren. F. werden z. B. in Sendern und in Empfängern angewendet, um aus wenigen quarzstabilisierten Frequenzen zahlreiche andere Frequenzen oder Frequenzen des UHF-Bereichs abzuleiten; sie sind ferner in Geräten der Trägerfrequenztechnik, Meßeinrichtungen u. a. enthalten.

Frequenzvorwahl ↑ Abstimmung.
Frequenzwandlung ↑ Mischung.
***F*-Schicht** ↑ Ionosphäre.
Füllschriftverfahren ↑ Schallplatte.
Funkamateur ↑ Amateurfunk.
Funkbeschickung ↑ Peilanlage.
Funkbetriebsarten: Unterscheidung drahtloser Sendungen nach Modulationsverfahren, Art der Übertragung und evtl. zusätzlichen technischen Parametern. Zur Kennzeichnung dient ein international vereinbarter Buchstaben-Zahlen-Schlüssel. Der 1. Buchstabe kennzeichnet das Modulationsverfahren: *A* = Amplitudenmodulation, *F* = Frequenz- oder Phasenmodulation, *P* = Pulsmodulation. Die folgende Zahl (*0* bis *9*) bez. die Art der Übertragung, ein evtl. angehängter Buchstabe bes. technische Merkmale. Häufig benutzte F. sind:
A 1 Amplitudenmodulation, Ein-Aus-Tastung des Trägers ohne hörbare Modulationsfrequenz (z. B. Telegrafieverkehr Schiff/Festland)
A 2 Amplitudenmodulation, Tasten einer oder mehrerer hörbarer Modulationsfrequenzen bei ständig ausgestrahltem Träger oder Tasten der modulierten HF (z. B. Verkehr zwischen Großstationen)
A 3 Amplitudenmodulation, Fernsprechen
A 3 A Amplitudenmodulation, Fernsprechen im Einseitenbandverfahren mit vermindertem Träger
A 3 H dto., mit vollem Träger
A 3 J dto., mit unterdrücktem Träger
A 5 C Amplitudenmodulation, Fernsehen mit Restseitenbandübertragung
F 1 Frequenzmodulation, Frequenzumtastung
F 3 Frequenzmodulation, Fernsprechen
F 4 Frequenzmodulation, Faksimileübertragung durch unmittelbare Frequenzmodulation des Trägers
P 3 D Pulsmodulation, Fernsprechen durch Modulation der Impulsamplitude
Funkboje: Schwimmkörper, der einen Kleinsender, die zugehörigen Stromquellen (chemische, Solar- oder Radionuklidbatterien) und meistens selbsttätige Schalt- und Programmsteuereinrichtungen enthält sowie neben der Sendeantenne häufig einen Radarreflektor und gegebenenfalls Solarzellen trägt. F. markieren Standorte z. B. von Fischschwärmen, von treibenden erlegten Walen und gefüllten Schleppnetz-Steerten zur Aufnahme durch ein Fabrikmutterschiff, und sie werden von Schiffen und Flugzeugen in Seenot ausgesetzt. Ihr Sender strahlt Peilzeichen, eine Kennung oder Notrufe aus, die durch Funkpeilung eine Zielfahrt zur F. ermöglichen. F. für wissenschaftliche Zwecke, z. B. zur Erforschung von Meeresströmungen oder zur Übermittlung meteorologischer Daten, senden in bestimmten Abständen oder auf Abruf die von ihnen gespeicherten Meßwerte.
Funkdienst, beweglicher: Sammelbez. für alle Funkverbindungen zwi-

schen beweglichen Funkstationen oder zwischen diesen und ortsfesten Funkstationen, z. B. Verbindungen Schiff/Schiff, Kraftfahrzeug/Kraftfahrzeug, Schiff/Küstenfunkstelle, Kraftfahrzeug/Leitfunkstelle, Rangierlokomotive/Stellwerk bzw. Rangiermeister. Der b. F. umfaßt also den ↑ Verkehrsfunk, ↑ Rangierfunk, ↑ Flugfunkverkehr und ↑ Seefunkverkehr. Er wird auf Frequenzbändern abgewickelt, die international so vereinbart wurden, daß für jede Aufgabe und für alle zu überbrückenden Entfernungen geeignete Frequenzen verfügbar sind.

Funkeleffekt ↑ Rauschen.

Funkenlöschung: Unterdrückung bzw. Verminderung des beim Abschalten von Gleichstromkreisen auftretenden Öffnungsfunkens, dessen Ursache die durch das schwindende Magnetfeld einer im Stromkreis liegenden Induktivität (z. B. Magnet- oder Relaisspule) hervorgerufene Induktionsspannung ist. F. wirkt dem Kontaktverschleiß, der Gefahr einer Lichtbogenbildung und dem Entstehen sich im Raum oder längs der Leiter ausbreitender ↑ Funkstörungen entgegen. In Abb. *a* wird die Energie des Magnetfelds der Induktivität *L* durch Laden des Kondensators *C* gespeichert und durch eine gedämpfte oder aperiodische Schwingung abgebaut. Reihenschaltung von *C* und einem Widerstand *R* (Abb. *b*) ver-



Funkenlöschung durch Kondensator (a), durch RC-Glied (*b*), mit Diode (*c*) und mit Varistor (*d*)

zögert den Entladevorgang und dämpft damit entstehende Schwingungen. Eine weitere Möglichkeit der F. ist, die Induktionsspannung unmittelbar am Ort der Entstehung kurzzuschließen. Das kann geschehen durch eine der Induktivität *L* parallel geschaltete Diode *D* (Abb. *c*), die für den durch die Induktionsspannung hervorgerufenen Strom in Durchlaßrichtung geschaltet ist, aber auch durch einen Varistor *V* (Abb. *d*) mit solchen elektrischen Parametern, daß sein Widerstand für normale Betriebsspannung vielfach höher ist als für die beim Abschalten auftretende Induktionsspannung.

Funkfernschreiben: Verfahren der ↑ Funktelegrafie zum Nachrichtenaustausch über Fernschreibmaschinen an den Endpunkten einer Funklinie oder zwischen Benutzern von Teilnehmer-Fernschreibnetzen (TELEX), die durch eine Funklinie verbunden sind. Zwischen Fernschreibmaschine und Sender bzw. Empfänger werden Tastgeräte geschaltet. Sie setzen die als Stromstöße vorliegenden Zeichen- und Pausenschritte der Fernschreibmaschine in eine zur Sendermodulation geeignete Form um bzw.

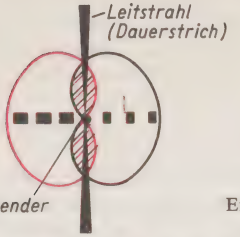
verwandeln die aufgenommenen Funksignale in Zeichen- und Pausenschritte zur Steuerung der Fernschreibmaschine.
Zur drahtlosen Übertragung dient häufig Frequenzmodulation (Betriebsart *F 1*). Beim F. zwischen festen Funkstationen können fast stets mehrere Fernschreiben gleichzeitig übermittelt werden. Die dafür bevorzugt angewendeten *Zeit-Multiplex-Systeme* (Abk. *MUX*) arbeiten z. B. so, daß die Zeichen der Nachrichten zunächst verkürzt und in die so entstehenden Lücken mehrere Nachrichten eingeordnet werden. Die so „ineinandergeschachtelten" Nachrichten werden nacheinander übertragen und am Ende der Übertragungsstrecke durch elektronische Schalter wieder voneinander getrennt. Durch Anwendung von ↑ Einseitenbandverfahren und entspr. Aufteilung der Fernschreibkanäle gelingt es, gleichzeitig bis zu 48 Fernschreiben (oder eine geringere Anzahl von Fernschreiben und mehrere Funkgespräche) zu übermitteln. Zur Reduzierung der Übertragungsfehler wurden mehrere Verfahren entwickelt, z. B. 3fache Wiederholung jedes Zeichens, Speicherung und Vergleich aller 3 am Empfangsort, wobei gestörte und dadurch verfälschte Zeichen durch ihre gegenseitigen Unterschiede mit großer Wahrscheinlichkeit erkannt werden. Bei dem nach dem Erfinder genannten *Van-Duuren-System* benutzt man ein vom normalen aus 5 Strom- bzw. Pausenschritten je Zeichen bestehenden Fernschreibalphabet abweichendes 7-Schritt-Alphabet. Von den 128 möglichen Schrittkombinationen werden nur solche aus je 4 Zeichen- und 3 Pausenschritten benutzt. Das Verhältnis 3 : 4 wird am Empfangsort durch eine Speicherschaltung für jedes Zeichen überprüft. Wird es nicht eingehalten, liegt eine Störung vor. Durch ein Signal vom Empfangsort aus wird daraufhin der Sender der Gegenstelle zur Wiederholung des gestörten Zeichens veranlaßt. Diese sowie die dazu nötige Unterbrechung und die sich anschließende Fortsetzung des Verkehrs laufen automatisch ab, ebenso die Umwandlung der Fernschreibsignale aus dem Fünfer- in das Siebener-Alphabet und zurück. Der nach seinem Erfinder benannte *Hell-Schreiber*, bei dem durch Tastendruck oder Abtasten eines Lochbands den zu übermittelnden Zeichen entspr. Stromstöße ausgelöst werden und beim Empfänger über einen Elektromagneten eine Schreibspindel steuern, wird ebenfalls zum F. benutzt. Er ist zwar relativ unempfindlich gegenüber Störungen (Zeichen noch bei Verfälschung oder Verstümmelung mehrerer Stromschritte lesbar, kein Druck falscher, sondern allenfalls unleserlicher Zeichen bei Störungen), doch reicht seine Arbeitsgeschwindigkeit für viele Zwecke nicht aus.
F. wird auf allen Frequenzbereichen angewendet (z. B. auch über Richtfunkstrecken und Nachrichtensatelliten), und zwar vor allem im transkontinentalen und -ozeanischen Funkverkehr; doch gewinnt es auch zunehmend an Bedeutung zur Nachrichtenübermittlung im beweglichen Funkdienst (z. B. Seefunkverkehr, militärische Funkdienste).
Funkfeuer: für die Funkortung und -navigation errichteter, im LW- und MW- oder im UKW-Bereich arbeitender Sender. *Ungerichtete* oder

Kreis-F., Abk. *NDB* [engl. *N*o *D*irectional *B*eacon, ungerichtetes Leuchtfeuer], senden auf einer Frequenz zwischen 255 und 415 kHz über eine Rundstrahlantenne und sind zur Eigenpeilung (↑ Funkpeilung) an Bord von Wasser- und Luftfahrzeugen vorgesehen. Sie werden durch eine Morsezeichen-Kennung unterschieden, die im Wechsel mit Peilsignalen ausgestrahlt wird. Auf Schiffen werden ungerichtete F. mit dem Funkpeiler, in Flugzeugen mit dem Radiokompaß empfangen. Zusammenfassen mehrerer auf gleicher Frequenz, aber abwechselnd sendender ungerichteter F. zu einer Gruppe bedeutet Verminderung der nötigen Frequenzbandbreite und erübrigt ein erneutes Abstimmen des Empfängers beim Übergang auf ein anderes F. der gleichen Gruppe.

Kurs- oder *Richt-F.* markieren bestimmte Richtungen durch *Leitstrahlen*, auf denen ein Wasser- oder Luftfahrzeug geführt werden kann. Das Einhalten des Leitstrahls sowie evtl. Kursabweichungen werden an Bord angezeigt. Zur Erzeugung der Leitstrahlen wird die Antennenanlage von Kurs-F. so gestaltet und vom Sender gespeist, daß mehrere einander in einer schmalen Zone überlappende Richtungsdiagramme entstehen. Diese Zone legt den Leitstrahl fest. Werden z. B. von der Antennenanlage abwechselnd 2 zueinander spiegelbildliche, kardioiden-(herz-)förmige Richtungsdiagramme erzeugt, die durch eine Punkt- bzw. Strichtastung (oder durch andere komplementäre Morsezeichen, z. B. „a, . -“, und „n, - .“ gekennzeichnet sind, so setzen sich die Zeichen in einer schmalen Zone, dem Leitstrahl, zu einem Dauerstrich zusammen, während rechts und links davon die Punkt- bzw. Strichtastung hervortritt. Die Richtungsdiagramme sind auch unterscheidbar, wenn die Senderstrahlung bei ihrer Erzeugung mit verschiedenen Tonfrequenzen moduliert wird. Der Empfänger befindet sich auf dem Leitstrahl, wenn die Amplituden beider Modulationsspannungen gleich groß sind.

Zweikurs-F. (Abb.) legen 2 um 180° entgegengesetzte Richtungen fest, arbeiten meist im LW- und MW-Bereich und kennzeichnen Fahrrinnen, Hafeneinfahrten u. ä. Die Antennenanlage besteht aus einer ungerichtet strahlenden Antenne und einer Rahmenantenne. Die Antenne ohne Richtwirkung strahlt ununterbrochen, die Speisung der Rahmenantenne wird im Punkt-Strich-Rhythmus in ihrer Phase um 180° umgetastet. Die Breite des den Leitstrahl darstellenden Sektors beträgt etwa 3°. Zum Empfang genügt ein normaler Funkempfänger. Die Sektorenbreite läßt sich auf $< 1°$ verringern, wenn Frequenzen des UKW-Bereichs benutzt werden. Die Antennenanlage besteht in diesem Fall aus einem Dipol und Reflektoren (↑ Antenne), die im Punkt-Strich-Rhythmus zu- und abgeschaltet werden. Die Reichweite ist allerdings nur wenig größer als die optische Sichtweite.

Vierkurs-F. legen 4 Richtungen (je 2 um 180° entgegengesetzt) fest, arbeiten im LW- und MW- oder im UKW-Bereich und kennzeichnen z. B. Luftstraßenkreuzungen oder Warteräume in Flughafennähe. Das Antennensystem erzeugt 4 kreisförmige, sich überlappende Richtungsdiagramme, die paarweise durch die Morsebuchstaben „a“ und „n“ gekennzeichnet sind. Es bilden sich 4 Dauerstrichsektoren als Leitstrahl.



Entstehung der Leitstrahlen beim Zweikursfunkfeuer

Eine eindeutige Feststellung, in welchen Quadranten ein Flugzeug einfliegt, ist mit Hilfe des F. allein jedoch nicht möglich.

UKW-Vierkurs-F. weisen diesen Mangel nicht auf. Sie erzeugen 2 Kardioidenpaare, deren Leitstrahlen aufeinander senkrecht stehen. Das eine ist durch die Tonfrequenzen 90 Hz und 150 Hz gekennzeichnet. Die Tonfrequenzamplituden werden an Bord verglichen und steuern ein Instrument mit optischer Anzeige; deshalb spricht man von einem *Sichtleitstrahl*, der z. B. in Richtung einer Luftstraße verläuft. Das andere Kardioidenpaar wird im „a-n"-Rhythmus getastet; senkrecht zum Sichtleitstrahl entsteht ein Leitstrahl, der durch einen im Empfänger hörbaren Dauerstrich gekennzeichnet ist (*Hör-* oder *Gehörleitstrahl*). Die gleichzeitige optische und akustische Anzeige ermöglicht die eindeutige Feststellung des Quadranten.

Markierungs-F. kennzeichnen in der Luftfahrt wichtige Punkte, wie Luftstraßenkreuzungen und Meldepunkte, sowie als Einflugzeichen beim ↑ Instrumentenlandesystem 2 oder 3 Entfernungen bis zum Aufsetzpunkt. Sie strahlen auf Frequenzen um 75 MHz senkrecht nach oben und lösen beim Überfliegen optische und akustische Signale an Bord aus.

Kurs- und Markierungs-F. liefern keine Ortungsdaten außerhalb der Leitstrahlen, *Dreh-F.*, die durch umlaufende Leitstrahlen oder Richtungsdiagramme charakterisiert sind, ermöglichen dagegen von jedem Punkt des Empfangsbereichs aus eine Bestimmung der Richtung zum F. Sie haben sich bes. als ↑ VOR-Drehfunkfeuer und beim ↑ Consol-Verfahren bewährt.

Funkgabel ↑ Funktelefonie.

Funk-Höhenmesser: Flugzeugbordgerät zur Ermittlung und Anzeige der Flughöhe über Grund mit Hilfe zum Boden gerichteter und dort reflektierter cm-Wellen. Die Frequenz des Bordsenders wird, z. B. mit einer Modulationsfrequenz von 100 MHz und einem Frequenzhub von 10 MHz, frequenzmoduliert (vgl. Modulation). Eine Empfangsantenne nimmt einen Teil der reflektierten Energie und aufgrund der „Streuwirkung" der Sendeantenne gleichzeitig das abgehende Signal auf. Wegen der sich ständig ändernden Sendefrequenz tritt zwischen diesem eingestreuten und dem reflektierten Signal ein von der Laufzeit der Wellen zwischen Sender, Boden und Empfänger abhängiger Frequenzunterschied auf. Er wird selbsttätig und fortlaufend gemessen und zur Hö-

henanzeige genutzt. Der F. ist ab etwa 2 m Flughöhe anwendbar; seine Meßgenauigkeit erreicht wenige Dezimeter. In großer Höhe wird z. T. auch ein F. angewendet, der nach dem Prinzip des Impuls-↑ Radars arbeitet, die Laufzeit zum Boden gestrahlter und reflektierter Radarimpulse mißt und in Höhenangaben umsetzt.

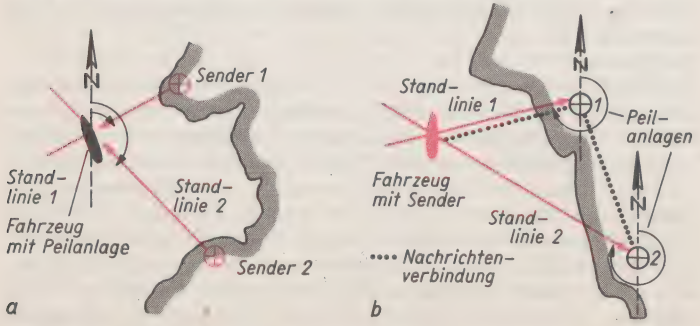
Funkkompaß ↑ Radiokompaß.

Funkmeßtechnik ↑ Radar.

Funknavigation: Anwendung der Methoden und Hilfsmittel der ↑ Funkortung zur Führung von Wasser-, Luft- und Raumfahrzeugen auf vorgegebenem Kurs.

Funkortung: Standortbestimmung in der See-, Luft- und Raumfahrt mit Hilfe elektromagnetischer Wellen, in der Seefahrt stets, in der Luftfahrt bei großer Entfernung meist eine Standortbestimmung in der Ebene. Prinzip jeder F. ist es, *Standlinien* zu gewinnen, deren Schnittpunkt den gesuchten Standort ergibt. Werden zur F. nur Winkel gemessen (vgl. Funkfeuer, Funkpeilung), so sind die Standlinien Geraden. Ist die der Entfernung Sender–Empfänger proportionale Laufzeit der elektromagnetischen Wellen Grundlage der F. (vgl. DME-System), so ist die Standlinie ein Kreis. Entfernungs(ϱ)- und Winkel(ϑ)-Messungen werden auch kombiniert angewendet (↑ *Rho-Theta-Verfahren*). Signale, die von 2 Sendern gleichzeitig (oder mit definiertem Zeitabstand) ausgestrahlt werden, erreichen einen Empfänger nur gleichzeitig (bzw. mit dem definierten Zeitabstand), wenn dieser sich auf der Mittelsenkrechten der Verbindungslinie beider Sender befindet. An allen anderen Orten treffen die Zeichen mit einer Zeitdifferenz ein, die der Wegdifferenz zu beiden Sendern entspricht. Alle Punkte gleicher Zeit- bzw. Wegdifferenzen liegen auf Hyperbeln, die als Standlinien dienen können (*Hyperbelnavigation*, wie ↑ Loran-, ↑ Decca-Verfahren u. a.). Als *autonome F.* bez. man Verfahren, die lediglich Bordmittel erfordern, wie einen ↑ Doppler-Navigator oder ein Radargerät.

Funkpeilung: Messung des Winkels zwischen einer Bezugsrichtung (z. B. geographisch Nord) und der (scheinbaren) Richtung zu einem Funksender



Funkpeilung: Eigen- (a) und Fremdpeilung (b)

mit Hilfe einer ↑ Peilanlage. Die F. wird zur Standortermittlung in der See- und Luftfahrt, für Zielfahrten (-flüge) und zur Feststellung unbekannter Senderstandorte (z. B. im militärischen Bereich oder bei der Suche nach Schwarzsendern) benutzt.

Bei der *Eigenpeilung* (Abb. a) steht das Fahrzeug mit der Peilanlage am unbekannten Standort; gemessen werden die Richtungen zu mindestens 2 Sendern bekannten Standorts, die beide je eine Standlinie liefern; ihr Schnittpunkt entspricht dem unbekannten Standort.

Bei der *Fremdpeilung* messen mindestens 2 Peilanlagen an bekannten Standorten die Richtungen zum Sender am unbekannten Standort, der sich wieder als Schnittpunkt der Standlinien ergibt. Das Verfahren setzt Nachrichtenverbindungen zwischen den Peilanlagen sowie zwischen Peilanlage und gepeiltem Objekt voraus.

Funkstörungen: allg. Bez. für Erscheinungen und Einflüsse, die eine Funkverbindung beeinträchtigen. Sie machen sich z. B. bei Hörempfang durch krachende, knatternde, zischende oder pfeifende Geräusche bemerkbar, verursachen bei Bildempfang Moiré oder kurze Striche in Zeilenrichtung, verfälschen Telegrafie- oder Fernschreibsignale.

Häufig werden zu den F. auch Erscheinungen in der ↑ Ionosphäre gerechnet, als deren Folge der Empfang geschwächt, verzerrt oder unterbrochen wird (↑ Schwund). Nach ihrer Quelle unterscheidet man *natürliche F.*, die ursächlich nicht beeinflußbar sind, und *technische F.*, die teilweise beeinflußbar sind, durch Geräte und Anlagen hervorgerufen und deshalb bisweilen auch als *künstliche F.* bez. werden. Nach der Erscheinungsform unterscheidet man *selektive F.*, die nur eine Frequenz oder ein schmales Frequenzband beeinflussen, und *Geräusche* mit einem breiten Frequenzspektrum, die als *Impuls-F.* (z. B. beim Betätigen eines Schalters) oder als *kontinuierliche F.* (z. B. Störungen durch einen schnellaufenden Kollektormotor) auftreten.

Den Hauptanteil der natürlichen F. bilden *atmosphärische Störungen.* Ihre Ursache sind luftelektrische Entladungen, bes. Gewitter, wobei die von Blitzen ausgehenden F. oft über Tausende Kilometer hinweg wirksam sind. Die Intensität der atmosphärischen F. sinkt mit der Wellenlänge und ist im Höchstfrequenzbereich meistens vernachlässigbar gering. Sie ist im Sommer am größten und ändert sich tagsüber, wobei i. allg. das Störungsmaximum gegen Mitternacht, das -minimum in den Morgenstunden erreicht wird. Luftelektrische Entladungen sind auch Ursache der *Whistler* [engl., Pfeifer], kurzer, in der Frequenz abschwellender Pfeiftöne im Längstwellenbereich. Sie werden durch leistungsstarke Störungen (Blitze) hervorgerufen, die die Ionosphäre durchdringen und sich längs der magnetischen Feldlinien des Erdfelds fortpflanzen. Vorgänge in der Ionosphäre tragen ebenfalls zu den natürlichen F. bei, auf Frequenzen > 20 MHz auch die von außerhalb der Ionosphäre zur Erdoberfläche vordringende Radiostrahlung (vgl. Radioastronomie).

Quellen technischer F. sind sämtliche Funken- und Lichtbogenentladungen. Sie haben ein breites Frequenzspektrum, das je nach Entstehungs-

ursache im LW-, MW-, KW- oder UKW-Bereich (mit Überschneidungen zwischen diesen) auftritt. Von Quellen im Stromversorgungsnetz breiten sich technische F. vor allem längs der Leitungen aus, andere (z. B. Zündstörungen durch Kraftfahrzeuge) durch den Raum. Selektive F. werden verursacht durch Sender auf oder dicht neben der abzuhörenden Frequenz, durch die Streustrahlung z. B. von Oszillatoren benachbarter Empfänger, von Industrie-HF-Generatoren u. a.

Die Bekämpfung natürlicher F. ist am Sende- und bes. am Empfangsort möglich, wobei man vor allem bestrebt ist, den ↑ Störabstand zu vergrößern. Hilfsmittel hierfür sind z. B. Richtantennen, Einschränkung der Empfängerbandbreite und ↑ Störbegrenzer im Empfänger, ferner geeignete Modulationsverfahren, z. B. Frequenzmodulation. Die gleichen Methoden werden auch zur Eindämmung selektiver Störungen angewendet. Maßnahmen am Entstehungsort kommen hinzu, z. B. sorgfältige Abschirmung von Oszillatoren, möglichst enge Begrenzung der Ausstrahlung von Sender-Oberwellen. Funken- und Lichtbogenstörungen werden am wirkungsvollsten am Entstehungsort bekämpft. Am Empfangsort verhindert man das Eindringen von Störungen über die Netzleitung z. B. durch HF-Drosseln und Kondensatoren (vgl. Antenneneffekt) oder durch Antennen mit abgeschirmter, d. h. nicht aufnehmender, Zuleitung, die möglichst hoch und damit außerhalb des „Störnebels" angebracht sind.

Funktelefonie: drahtlose Fernsprechverbindung über meist große Entfernung (im Unterschied zum Sprechfunk), deren Endpunkte i. allg. mit dem öffentlichen Fernsprechnetz verbunden sind und die daher von jedem Fernsprechteilnehmer benutzt werden kann. F. wird vor allem für den transozeanischen Fernsprechverkehr sowie für Ferngespräche mit Wasser- und Luftfahrzeugen eingesetzt. Für wenig benutzte F.linien (z. B. mit Schiffen auf große Entfernung) ist Ausstrahlung beider Seitenbänder (Betriebsart *A 3*) oder das ↑ Einseitenbandverfahren der Betriebsart *A 3 A* üblich. Im transozeanischen Fernsprechverkehr – wo ein hoher Aufwand vertretbar ist – wird allg. das Einseitenbandverfahren der Betriebsart *A 3 B* bevorzugt; durch Aufteilen jedes Seitenbands in 2 Telefoniekanäle können 4 Gespräche gleichzeitig geführt werden (vgl. Funkbetriebsarten).

Das Einschalten einer F.linie in das Fernsprechnetz erfordert Zusatzeinrichtungen. Sog. Gabelschaltungen (*Funkgabeln*) ermöglichen den Übergang von der zweidrähtigen Fernsprechleitung auf die einer vierdrähtigen Leitung entspr. F.linie (2 „Drähte" in Sende-, 2 in Empfangsrichtung). Sie enthalten *Rückkopplungssperren*, Schalteinrichtungen, die durch die Sprechströme gesteuert werden, den Sende- und Empfangsweg abwechselnd freigeben und so verhindern, daß Signalreste zum Ausgangsort zurückkehren und Störungen verursachen (z. B. Heulen oder Pfeifen; vgl. Rückkopplung [akustische]). *Volumenregler* beim Sender sorgen für eine annähernd gleichbleibende Aussteuerung und verhindern zugleich ein Übersteuern (↑ Modulation). Im Empfänger vermindern sie

starke Schwankungen der vom Empfängerausgang an das Fernsprechleitungsnetz abgegebenen Spannung. Störgeräusche, bes. in den Sprechpausen, werden durch ↑ *Begrenzer* vermindert. Ein ↑ *Geheimhaltungssystem* kann zusätzlich verwendet werden.

Funktelegrafie: Übermittlung von Nachrichten auf drahtlosem Wege nach einem vereinbarten Code, z. B. dem Morsealphabet oder einem anderen Telegrafenalphabet. Zur Übertragung werden vor allem die Betriebsarten *A 1*, *A 2* und *F 1* (↑ Frequenzumtastung, vgl. Funkbetriebsarten) benutzt.

F. in den Betriebsarten *A 1* und *A 2* mit Ein-Aus-Tastung des Senders bzw. Modulation im Morserhythmus wird im beweglichen ↑ Funkdienst über große Entfernung (z. B. im ↑ Seefunkverkehr), ferner für Rückfragen, betriebstechnische Mitteilungen und bei sehr schlechten Bedingungen im Verkehr zwischen festen Funkstellen sowie im Amateurfunk angewendet. Die Zeichen werden mit der Morsetaste gegeben und beim Empfänger im Kopfhörer oder Lautsprecher hörbar gemacht. Hierzu ist bei *A 1*-Betrieb im Empfänger ein ↑ Telegrafieüberlagerer nötig. Vorteile sind hoher Wirkungsgrad der Sender, geringe erforderliche Bandbreite (bei *A 1* einige 10 Hz) und die Möglichkeit des Erkennens auch stark gestörter Zeichen durch geübte Funker. Nachteilig ist die bei Handbetrieb geringe Telegrafiergeschwindigkeit (etwa 25 Wörter zu je 5 Zeichen in der Minute).

Eine Vervielfachung der Telegrafiergeschwindigkeit ist durch Mechanisierung des Zeichengebens und -aufnehmens möglich. So kann man auf der Senderseite mittels eines Lochers einen den zu übertragenden Signalen entspr. Lochstreifen herstellen, den ein *Lochstreifensender* mit hoher Geschwindigkeit abtastet und danach den Sender steuert. Die Telegrafiergeschwindigkeit kann den Übertragungsbedingungen angepaßt werden. Auf der Empfangsseite schreibt ein sog. *Recorder*, von den Signalströmen gesteuert, eine wellenförmige Linie auf einen Papierstreifen. Sie wird vom Funker abgelesen und in Druckschrift übertragen. Für den Schreibempfang läßt sich auch ein *Lochschreiber* benutzen, der die ankommenden Zeichen über Elektromagneten als Lochkombination in einem stetig bewegten Lochstreifen anbringt. Dieser kann einem Typendrucker eingegeben oder gleich zur Weitergabe des Texts benutzt werden. In den letzten Jahren gewann die F. bes. in Form des ↑ Funkfernschreibens Bedeutung.

Funktionsblock ↑ Mikroelektronik.

Funktionsgenerator und **-multiplikator** ↑ Analogierechenautomat.

Funkwetter ↑ Ionosphäre.

G

GA (auch **GAA**) ↑ Gemeinschaftsantennenanlage.

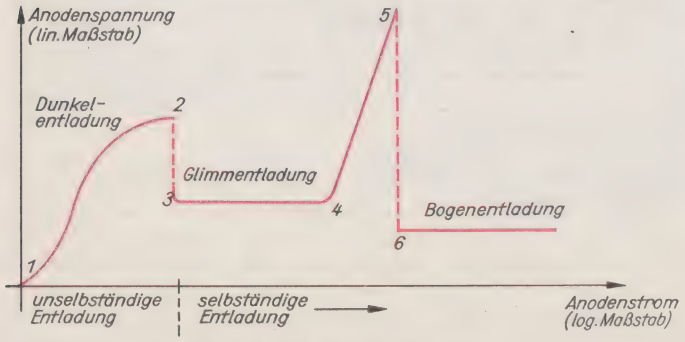
galvanische Kopplung ↑ Verstärker 2.1.

Gasentladungsröhre: Bauelement der Elektronik, bestehend aus einem Glas-, Metall- oder Metall-Keramik-Kolben, der mit einem Gas (meist Edelgas), Quecksilberdampf oder einer Mischung aus beiden gefüllt ist und in dem über 2 oder mehr Elektroden eine Gasentladung eingeleitet, aufrechterhalten und z. B. zur Anzeige von Spannungen oder zur Steuerung von Strömen genutzt wird. In der G. müssen Elektronen und Ionen für den Stromtransport bzw. für die Erzeugung neuer Ladungsträger vorhanden sein, die z. B. durch Stoßionisation (↑ Ion), durch eine Glühkatode, durch Licht oder radioaktive Strahlung geliefert werden können.

In G. mit kalter, d. h. ungeheizter, Katode ist bereits bei geringer Spannung zwischen dieser und der Anode ein schwacher Strom nachweisbar. Ursache sind Ladungsträger, die durch Licht, radioaktive oder kosmische Strahlung erzeugt werden und unter dem Einfluß der Spannung zu den Elektroden wandern. Diese Entladung (1...2 in Abb.) ist unselbständig, würde bei Fernhalten der äußeren Ionisationsursachen aufhören und ist nicht von Leuchterscheinungen begleitet (*Dunkelentladung*). Sie wird u. a. in gasgefüllten Fotozellen und in sog. Ionisationskammern zum Messen radioaktiver Strahlung genutzt.

Wird die Elektrodenspannung erhöht, so zeigt sich bei einer durch die Abmessungen der Röhre, durch Art und Druck des Gases sowie durch das Katodenmaterial bestimmten Zündspannung (2 in Abb.) ein erheblicher Anstieg der Stromstärke (3...4); zugleich treten Leuchterscheinungen auf.

Die Entladung wird selbsttätig und hält sich auch ohne äußere Ionisationsursachen, denn in der G. werden ständig Ladungsträger gebildet,



Spannungs-Strom-Kennlinie einer Gasentladung (Prinzip)

teils durch Ionen, die auf die Katode prallen und aus dieser Elektronen freisetzen, teils durch Zusammenstöße zur Anode beschleunigter Elektronen mit Gasteilchen. Anzahl der Ladungsträger und Strom wachsen lawinenartig. Deshalb muß durch Vorschalten eines *Begrenzungswiderstands* ein Maximalstrom festgelegt werden. Diese Entladungsart heißt *Glimmentladung.* Vor der Katode bildet sich aus Ionen eine positive Raumladung. In diesem nicht (bzw. sehr schwach) leuchtenden Bereich fällt der größte Teil der an der G. liegenden Spannung ab, Ionen und Elektronen werden in ihm stark beschleunigt. In geringem Abstand von der Katode folgt die Zone des bes. deutlichen ,,negativen Glimmlichts", das scheinbar die Katode bedeckt. Die leuchtende Fläche ist dem Strom durch die G. proportional, die jetzt an der G. abfallende *Brennspannung* niedriger als die Zündspannung. In Richtung auf die Anode folgen ein weiterer Dunkelraum und die leuchtende ,,positive Säule". Die Leuchterscheinungen entstehen dadurch, daß Atome durch Zusammenstoß mit Elektronen angeregt werden und die aufgenommene Energie als Licht wieder ausstrahlen. Auch die bei Rekombinationen frei werdende Energie trägt zum Leuchten bei. G., in denen die Glimmentladung angewendet wird, sind z. B. ↑ Glimmlampen, ↑ Ziffernanzeigeröhren und ↑ Kaltkatodenröhren.

Wird in einer Glimmentladung die Stromstärke über die völlige Katodenbedeckung hinaus erhöht, geht die Glimmentladung in eine *Bogenentladung* (5) über, bei der die für den Entladungsvorgang notwendigen Ladungsträger vor allem durch thermische ↑ Elektronenemission aus der erhitzten Katode geliefert werden. In G. wird zum Erzeugen einer Bogenentladung eine Glühkatode (↑ Katode) bevorzugt. Die Brennspannung (6) einer im Gebiet der Bogenentladung arbeitenden G. sinkt auf 10 bis 20 V ab, weil nur noch Elektronen zur Ionisation der Gasteilchen zu beschleunigen sind. Die Bogenentladung wird u. a. im ↑ Ignitron und im ↑ Thyratron angewendet. – Sowohl G. mit ungeheizter als auch solche mit geheizter Katode enthalten oft weitere Elektroden, die als *Zündelektroden* den Zündeinsatz erleichtern und zur Steuerung des durch die G. fließenden Stroms benutzt werden. Zum Aufbau der Entladung ist ebenso wie zum Entionisieren einer G. nach dem Abschalten eine gewisse Zeitspanne – einige Mikro- bzw. bis zu einigen Millisekunden – erforderlich. Daher erstreckt sich der Anwendungsbereich der meisten G. auf die Steuerung von NF-Spannungen und -strömen.

Gate: 1. ↑ Thyristor. – **2.** ↑ Transistor 2.

Gatter [von engl. gate, Tor]: oft benutzte Bez. für eine ↑ logische Grundschaltung.

gedruckte Schaltung: Baugruppe (oder Bauteil), deren Leitungszüge mittels eines Druckverfahrens auf einer die Bauelemente tragenden Platte aus Isoliermaterial (meist Hartpapier, auch Glasfaserhartgewebe mit Epoxidharz als Bindemittel oder Keramik) erzeugt werden. Zur Herstellung der Druckvorlage wird das künftige Leitungsschema vergrößert gezeichnet und anschließend auf die Originalgröße der g.n. S.en ver-

kleinert, wobei es, um große Flächen in einem Arbeitsgang bedrucken zu können, meist in vielfacher Wiederholung neben- und untereinander angeordnet wird. Anschließend wird die benötigte Stückzahl im Siebdruck oder einem anderen Druckverfahren hergestellt; die Druckleistung beträgt $>10^3$ Platten von $>0{,}5$ m^2 je Stunde.

Die Leitungszüge werden im wesentlichen nach 2 Verfahren herausgearbeitet. Beim *Abbauverfahren* (*Folienätztechnik*) ist die isolierende Trägerplatte mit einer dünnen Kupferfolie kaschiert, auf die das Leitungsmuster mit ätzfester Farbe gedruckt wird. Bei einem anschließenden Ätzvorgang bleibt die Kaschierung nur unter den aufgedruckten Leitungszügen erhalten, und nach Entfernen der Druckfarbe liegen diese frei. Bei fotografischen Verfahren wird die Kaschierung mit einer lichtempfindlichen Schicht bedeckt und auf diese das Bild der Leitungszüge kopiert. Beim Entwickeln härten die belichteten Stellen aus, so daß die ätzfesten Leitungszüge zurückbleiben, während die nichtbelichteten sich auflösen. Beim *Aufbauverfahren* geht man von unkaschiertem Trägermaterial aus. Die Leitungszüge werden aus einer elektrisch leitenden Substanz aufgedruckt sowie anschließend galvanisch verkupfert und verstärkt. In der so vorbereiteten *gedruckten Leiterplatte* bringt man Bohrungen für die Anschlußdrähte bzw. -fahnen der Bauelemente an, die üblicherweise von der den Leitungszügen abgewandten Seite her eingeführt werden. Der Bohrungsanordnung liegt ein genormter Raster zugrunde, dessen Kreuzungspunkte Abstände von 5, 2,5 bzw. 1,25 mm haben; die Anschlüsse der Bauelemente haben Abstände von Vielfachen dieses Maßes. Die Bestückung von Leiterplatten mit Bauelementen erfolgt manuell oder maschinell. Die zur Montage auf Gurten oder in Magazinen bereitgestellten Bauelemente werden mit ihren Anschlußenden maschinell in die Leiterplatten eingeführt und sämtliche Lötverbindungen dann in einem Arbeitsgang hergestellt, indem die Leiterplatte von Hand oder automatisch etwa 2 bis 3 s mit der Oberfläche eines Zinnbades in Berührung gebracht wird (meist sog. ↑ Schwallötung). Entwurf und Ausführung von g.n. S.en weisen gegenüber Schaltungen mit dreidimensionaler Leitungsführung Besonderheiten auf. So müssen z. B. Leitungskreuzungen nach Möglichkeit vermieden werden bzw. lötet man hierzu nachträglich Drahtbrücken ein. Häufig werden beide Seiten der Leiterplatte mit Leitungszügen versehen (*Zweiebenenleiterplatte*), die durch metallisierte Bohrungen miteinander verbunden sind (sog. Durchkontaktieren). Kontakt- und Anschlußstellen am Rande der Leiterplatten werden oft zusätzlich galvanisch verstärkt oder in den Platten „versenkt".

Die mit der Miniaturisierung der Bauelemente und dem Einsatz von integrierten ↑ Schaltkreisen verbundene Erhöhung der Packungs- und Verdrahtungsdichte verlangt den Einsatz von *Mehrlagenleiterplatten*, bei denen sich die Leiterzüge auf mehrere Leiterebenen einer -platte aufteilen. Dazwischenliegende Isolierschichten und Abschirmebenen verhindern eine gegenseitige Beeinflussung. Bei Mehrebenenleiterplatten

wurden ohne Erhöhung der Leiterplattendicke (meist 1,5 mm) bis zu 12 Verdrahtungsebenen erreicht. Für Baugruppen mit LSI-Schaltkreisen finden *Mehrschichtleiterplatten* aus keramischen Basismaterialien Verwendung, auf denen sich ein- oder zweiseitig mehrere Leiterzüge und Isolierschichten befinden. Vorzüge der g.n. S.en sind vor allem die Möglichkeit, hohe Stückzahlen völlig gleicher Schaltungen automatisch herzustellen, Schaltungsfehler oder durch unterschiedliche Leitungsführung verursachte Abweichungen in den elektrischen Parametern zu vermeiden, „kalte", nach kurzer oder längerer Betriebsdauer versagende Lötstellen nahezu auszuschließen und so die Zuverlässigkeit einer Baustufe entscheidend zu steigern, außerdem erhebliche Raumeinsparung zu erzielen, die z. B. durch Stapeln mehrerer Leiterplatten oder auch durch flexible, nach Fertigstellung zusammengerollte Leiterplatten noch erhöht werden kann. G. S.en werden überall in der Elektronik in großem Umfang eingesetzt.

Gegengewicht: unter einer Antenne angebrachte Anordnung, z. B. von strahlenförmig dicht über dem Erdboden verlegten, aber gegenüber diesem isolierten Leitern, als Ersatz für die Erdung der Antenne bei schlechter Bodenleitfähigkeit oder in mobilen Funkstationen (gegenüber dem Boden isoliertes metallisches Fahrzeugchassis). G. werden vorwiegend im LW-, MW- und KW-Bereich angewendet.

Gegenkopplung: ↑ Rückkopplung, bei der die teilweise Rückführung des Ausgangssignals einer verstärkenden Anordnung zu deren Eingang so erfolgt, daß es dem Eingangssignal entgegenwirkt. Eine wichtige Größe für die Berechnung der G. ist der *G.sfaktor K*. Er entspricht dem Rückkopplungsfaktor mit negativem Vorzeichen und ist das Verhältnis zwischen rückgeführter G.sspannung und Ausgangsspannung der Verstärkerstufe. Ist V die Verstärkung der Stufe ohne G., V' die Verstärkung mit G., so gilt $V' = V/(1 - V \cdot K)$. Die G. verursacht demnach einen Verstärkungsverlust, dem jedoch entscheidende Vorteile gegenüberstehen: 1. Die durch Bauelemente mit gekrümmter Kennlinie (z. B. Elektronenröhren, Transistoren) hervorgerufenen Oberschwingungen werden durch die G. geschwächt; nichtlineare ↑ Verzerrungen und ↑ Klirrfaktor lassen sich verringern. 2. Durch frequenzabhängige G. können wählbare Teile eines zu verstärkenden Frequenzbands bevorzugt oder benachteiligt werden, d. h. der Einfluß linearer Verzerrungen ist verminderbar. 3. Die Lage des ↑ Arbeitspunkts verstärkender Bauelemente kann durch G. gegenüber störenden Einflüssen stabilisiert werden, d. h., es kann z. B. der Temperaturabhängigkeit der elektrischen Parameter von Halbleiterbauelementen, Schwankungen der Speisespannung einer Verstärkerstufe oder alterungsbedingten Veränderungen ihrer Parameter entgegengewirkt werden.

Spannungs-G. liegt vor, wenn die G.sspannung der Ausgangsspannung der Verstärkerstufe proportional ist. Bei einer Pentodenverstärkung z. B. (Abb. *1a*) wird das durch den Spannungsteiler R_1/R_2 parallel zum Ausgangskreis erreicht, bei einer transistorisierten Verstärkerstufe (Abb. *1b*)

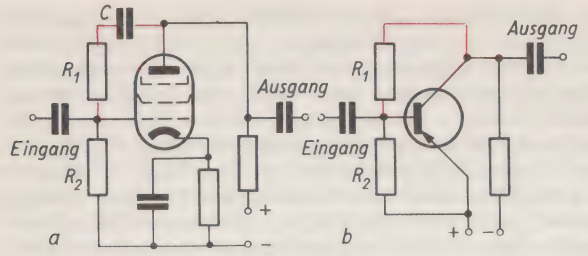


Abb. *1*: Spannungsgegenkopplung, *a* mit Elektronenröhre, *b* mit Transistor

liegt der entspr. Spannungsteiler zwischen Kollektor, Basis und Emitter. *Strom-G.* liegt vor, wenn die G.sspannung dem im Ausgangskreis fließenden Strom proportional ist. In einer Pentodenstufe (Abb. *2a*) entsteht bei Aussteuerung am Katodenwiderstand *R* eine Wechselspannung, die gleichzeitig als Gitterspannung wirkt. Da diese Wechselspannung gegenüber der Steuerspannung um 180° phasenverschoben ist, tritt G. ein. Die entspr. Schaltung einer transistorisierten Stufe zeigt Abb. *2b*.

G.sschaltungen sind in zahlreichen Varianten verbreitet. So wird z. B. häufig eine G. von einer Stufe auf eine vorausgehende vorgenommen, bei mehrstufigen Verstärkern kann G. vom Verstärkerausgang zum -eingang erfolgen u. a. Ist *C* in Abb. *1a* so bemessen, daß sein kapazitiver Widerstand für tiefe Frequenzen nicht mehr zu vernachlässigen ist, so wird die G. frequenzabhängig: Bei niedrigen Frequenzen nimmt sie ab und die Verstärkung zu, was eine Tiefenanhebung zur Folge hat (vgl. Klangregelung). Eine Höhenanhebung ließe sich z. B. in Abb. *2a* durch Parallelschalten eines Kondensators zu *R* herbeiführen, dessen kapazitiver Widerstand mit der Frequenz abnimmt und daher bei höheren Frequenzen einen Nebenschluß für die an *R* entstehende G.sspannung darstellt. Durch Anwendung von Netzwerken aus Widerständen, Kondensatoren und

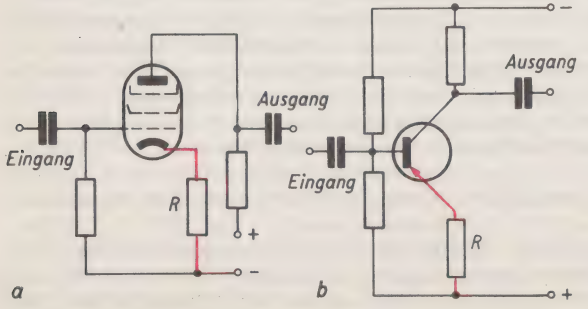


Abb. *2*: Stromgegenkopplung

mitunter Induktivitäten läßt sich der Frequenzgang eines Verstärkers weitgehend beeinflussen.

Gegensprechverkehr ↑ Sprechfunk.

Gegentaktschaltung ↑ Verstärker 2.2.

Geheimhaltungssystem: Verfahren, mit dessen Hilfe das Abhören von Funktelefonie durch Unbefugte erschwert wird. Gewisse, jedoch oft ungenügende Sicherheit bieten bereits ↑ Einseitenbandverfahren. Spezielle Methoden bestehen z. B. darin, das Sprachfrequenzband mittels eines *Inverters* umzukehren („Kippen" um eine feste Frequenz, wobei aus hohen Sprachfrequenzen tiefe werden und umgekehrt) oder um einen bestimmten, beim Empfänger rückgängig zu machenden Betrag zu versetzen. Am wirkungsvollsten ist es, das Sprachfrequenzband durch Filteranordnung in mehrere (z. B. 6 oder 10) Teilbereiche zu zerlegen, die miteinander nach einem zwischen Sender und Empfänger vereinbarten und auswechselbaren Schlüssel vertauscht werden. Zusätzliche Invertierung der Teilbänder erhöht die Abhörsicherheit weiter.

Geisterbild: seitlich gegeneinander versetzte mehrfache Wiedergabe desselben Bilds auf dem Bildschirm von Fernsehempfängern. Ein G. entsteht, wenn die Signale des Fernsehsenders den Empfänger auf verschieden langen Wegen (und damit zeitlich nacheinander) erreichen, z. B. direkt und nach Reflexion an einem Höhenzug, Gebäudekomplex o. a. Auch fehlerhafte ↑ Anpassung der Antennenleitung an Antenne oder bzw. und Empfängereingang kann ein G. verursachen (mehrfache Reflexion an den Leitungsenden). Man vermeidet G.er durch Verwendung einer straff bündelnden Richtantenne und deren genaue Ausrichtung sowie durch exakte Anpassung zwischen Antenne, Antennenleitung und Empfängereingang.

Gemeinschaftsantennenanlage (Abk. *GA* oder *GAA*): System von Antenne(n), Verstärker(n), Verteilereinrichtungen zur Versorgung einer großen Teilnehmerzahl z. B. eines Wohnblocks oder eines Wohnviertels (*Groß-G.*, Abk. *GGA*, für bis mehrere Tausend Teilnehmer) mit Hör- und Fernsehrundfunkprogrammen bei freier Programmwahl durch jeden Teilnehmer.

Die von Einzelantennen für die interessierenden Frequenzbereiche (z. B. UKW, VHF, UHF, MW) an empfangsgünstiger Stelle aufgenommene HF-Leistung wird in ↑ Antennenverstärkern verstärkt und in das Verteilungsnetz eingespeist. In diesem können bei größeren Entfernungen weitere Streckenverstärker sowie Regeleinrichtungen vorgesehen sein, damit an allen Endpunkten, den *Antennensteckdosen*, annähernd gleiche HF-Leistung verfügbar ist. ↑ Antennenweichen und Entkopplungsglieder in den Antennensteckdosen verhindern gegenseitige Beeinflussung der Empfänger. UHF-Kanäle werden mitunter vor Einspeisen in das Verteilernetz in einen am Empfangsort „freien" VHF-Kanal umgesetzt, wodurch das Verteilernetz vereinfacht und der Empfang von UHF-Programmen mit älteren Fernsehempfängern möglich wird (vgl. Konverter 1.).

G. sind in dichtbebautem Gebiet, wo Reflexionen und Abschattungen durch Hochbauten auftreten können, oder in Tallagen oft Voraussetzung für störungsfreien Empfang. Sie tragen zur Materialersparnis bei (Verteilereinrichtungen witterungsgeschützt, weniger Masten- und Abspannmaterial), vermeiden unschönes Antennen- und Zuleitungsgewirr und sind häufig vorbereitet und ausbaufähig für ↑ Kabelfernsehen und ↑ Satellitenfernsehen.

Gemeinschaftswellenbetrieb ↑ Gleichwellenbetrieb.

Geradeausempfänger: Funkempfänger, in dem die HF-Signale die vor dem Empfangsgleichrichter liegenden Stufen ohne Frequenzwandlung durchlaufen. Der erste G. für Funkdienste und später auch für Rundfunkempfang war der *Detektorempfänger*, bestehend aus mindestens einem veränderbaren Schwingungskreis zur Abstimmung und einem Kristalldetektor zur Demodulation. Der Detektorempfänger benötigte keine Stromquelle, verstärkte die empfangenen Signale nicht und war daher nur für Kopfhörerempfang leistungsstarker, nicht zu weit entfernter Sender geeignet. Er ist heute bedeutungslos.

Mit Elektronenröhren bestückte G. enthielten einen mit einem Schwingungskreis abstimmbaren Empfangsgleichrichter, z. B. ein rückgekoppeltes Audion (↑ Demodulation), eine oder mehrere NF-Verstärkerstufen und häufig eine oder mehrere abgestimmte oder unabgestimmte HF-Verstärkerstufen. Bes. für Rundfunkempfang wurden bis in die vierziger Jahre *Einkreisempfänger* produziert, preiswerte G., die vor dem Empfangsgleichrichter nur einen Schwingungskreis und dahinter eine oder mehrere Stufen zur Verstärkung der demodulierten Signale enthielten. Sie ermöglichten Lautsprecherempfang nahegelegener Sender. Wegen ihrer Mängel (z. B. schwierige Bedienung der Rückkopplung, geringe Trennschärfe, Neigung zur unkontrollierbaren Schwingungserzeugung) wurden aber auch sie durch den ↑ Superhet nahezu völlig verdrängt.

Geschwindigkeitssteuerung ↑ Elektronenröhre.

Getter [engl. to get clear, beseitigen] dienen der Aufzehrung von Restgasen in Vakuumgefäßen, z. B. in Elektronenröhren. Sie erleichtern das Evakuieren, absorbieren und binden Gasreste, die während des Betriebs aus Elektroden o. a. Bauteilen austreten. Manche *G.stoffe*, z. B. Barium, werden in einem ringförmigen G.träger in das Vakuumgefäß eingeführt, durch induktive Erwärmung (↑ Hochfrequenzerwärmung) verdampft und schlagen sich als *G.spiegel* auf der Innenwand des Vakuumgefäßes nieder. Andere G.stoffe, etwa Zirkonium, werden in feiner Verteilung auf die Elektroden gebracht, z. B. aufgesprüht.

GGA ↑ Gemeinschaftsantennenanlage.

Gitter: Elektrode zwischen Katode und Anode einer Elektronen- oder Gasentladungsröhre zur Steuerung des Elektronenstroms (*Steuer-G.*, ↑ Elektronenröhre), zur Verminderung der Elektrodenkapazität (*Schirm-G.*), zur Beseitigung des störenden Sekundärelektronenaustausches (*Brems-G.*). Verbreitet sind wendelförmige G., deren Windungen an G.stegen befestigt sind. Die für eine hohe Verstärkung geforderte hohe

Steilheit bei kleiner Elektrodenkapazität führte zur Entwicklung der *Spann-G.* Träger ist hier ein Rähmchen, auf dem die nur wenige μm dicken G.drähte mit solcher mechanischer Vorspannung befestigt sind, daß sie durch die Wärmestrahlung der im Innern des Rähmchens angebrachten Katode nicht verformt werden. Elektronenröhren enthalten bis zu 7 G.; in Anlehnung an die bei Elektronenröhren üblichen Bez. nennt man auch den Wehnelt-Zylinder und die Elektroden zur Fokussierung in Elektronenstrahlröhren G.

Gitterableitwiderstand ↑ Gitterspannung.

Gitter-Anoden-Kapazität ↑ Elektronenröhre.

Gitterbasisschaltung ↑ Verstärker 1.1.

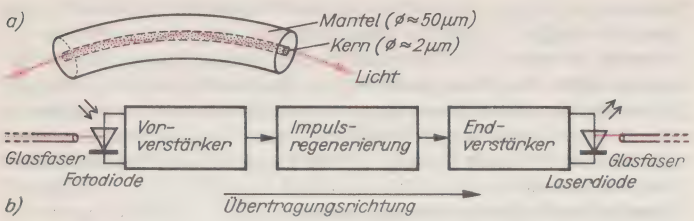
Gittermaskenröhre ↑ Bildröhre 2.

Gitterspannung: Spannung i. w. S. zwischen einem ↑ Gitter und der Katode, i. e. S. zwischen Steuergitter und Katode einer Elektronenröhre. Die G. kann eine Gleichspannung (s. u.) sein oder eine Wechselspannung, die den Anodenstrom der Röhre steuert. Häufig liegen eine Gleich- und eine Wechselspannung in Reihe zwischen Steuergitter und Katode. Dabei wird mit der Gleichspannung (hier *Gittervorspannung* genannt) der Arbeitspunkt so eingestellt, daß leistungslose Steuerung (vgl. Elektronenröhre) ermöglicht wird. Die Gittervorspannung wird so gepolt und bemessen, daß das Steuergitter auch bei positiven Halbwellen der Steuerwechselspannung gegenüber der Katode negativ bleibt und kein Strom (*Gitterstrom*) über das Steuergitter fließt, der u. a. Verzerrungen verursachen würde.

Die Gittervorspannung wird bei den heute üblicherweise verwendeten indirekt geheizten Röhren meist mit Hilfe eines in die Katodenleitung geschalteten Widerstands (*Katodenwiderstand*) gewonnen. Dieser wird vom Gleichstromanteil des Katodenstroms durchflossen; sein der Katode abgewandtes Ende ist gegenüber der Katode negativ. Der Gleichspannungsabfall am Katodenwiderstand wird über den *Gitterableitwiderstand* dem Steuergitter zugeführt und als Gittervorspannung benutzt. Um Schwankungen der Gittervorspannung durch den Anodenwechselstrom auszuschalten (vgl. Gegenkopplung), wird der Katodenwiderstand mit einem hinreichend großen Kondensator überbrückt.

Gitterstrom ↑ Gitterspannung.

Glasfasernachrichtenübertragung: optoelektronisches System (↑ Optoelektronik) zur gleichzeitigen Fernübertragung großer Informationsmengen (z. B. Ferngespräche, Fernsehprogramme, Rechnerdaten) mit Hilfe von in Glasfasern geführten Lichtwellen. Sender ist eine *Laserdiode* (↑ Laser 2.). Ihr Licht wird z. B. nach Verfahren der *PCM* und im *Zeitmultiplexverfahren* (↑ Modulation 4.) intensitätsmoduliert und dem Ende einer Glasfaser eingekoppelt. Diese besteht aus einem Kern mit Mantel aus Glas von niedrigerem Brechungsindex (Abb. *a*). Durch fortlaufende Totalreflexion an der Grenzfläche Kern/Mantel wird das Licht weitergeleitet und am anderen Faserende durch eine Fotodiode (↑ Diode 2.) in elektrische Größen rückgewandelt.



Glasfasernachrichtenübertragung: Aufbau der Glasfaser (a) neu und Blockschema einer Repeater-Station (*b*)

Um bei breitbandiger Übertragung Laufzeitverzerrungen durch unterschiedliche Reflexionswinkel und Wege von Teilstrahlen zu vermeiden, muß der Kerndurchmesser der Größenordnung der Lichtwellenlängen genähert werden (Kerndurchmesser gegenwärtig $1 \cdots 2$ µm). Die Lichtdämpfung in der Faser (Verluste nach 1 km bis 90%) macht, wie bei ↑ Richtfunkstrecken, Relaisstationen, Repeater-Stationen [engl. to repeat, wiederholen] nötig (Abb. *b*). In ihnen werden die optischen Signale empfangen, verstärkt, regeneriert (↑ Modulation 4.) und zur Modulation des Senders für den nächsten Leitungsabschnitt genutzt (auch Abzweigungen sind in Repeater-Stationen möglich). (Gegenwärtig scheinen Abstände der Repeater-Stationen von $1 \cdots 2$ km erforderlich).
Über e i n e Glasfaser, deren zahlreiche zum „Kabel" gebündelt werden können, lassen sich z. B. gleichzeitig etwa 20000 Ferngespräche übertragen. Weitere Vorteile der G. sind relative Stör- und Abhörsicherheit sowie erhebliche Materialersparnis (Berechnungen zufolge kann 1 g Glas bei gleicher Übertragungsleistung 10 kg Kupfer ersetzen). – G. befinden sich gegenwärtig noch in der Entwicklung, Versuchsleitungen (einige Kilometer) wurden erprobt.

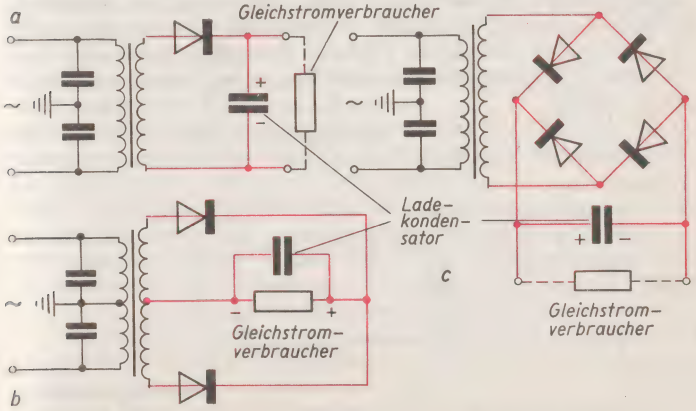
Gleichrichter: Gerät oder Baustufe zur Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom. Jeder G. enthält ein oder mehrere Bauelemente mit Ventilwirkung, die dem Strom in einer Richtung niedrigen, in der anderen sehr hohen (im Idealfall unendlich großen) Widerstand entgegensetzen. Von den beiden unterschiedlich gerichteten Halbwellen des Wechselstroms wird also jeweils die eine gesperrt, die andere hindurchgelassen. Die Wahl der Ventilelemente wird durch die vom G. zu verarbeitende Leistung bestimmt. Da G. für elektronische und funktechnische Geräte i. allg. keine sehr große Leistung abzugeben brauchen, werden sie meist mit ↑ Dioden (2) auf Halbleiterbasis bestückt. Für die Regelungs- und Automatisierungstechnik haben vor allem steuerbare G. Bedeutung erlangt, deren Leistung sich von Hand oder automatisch in weiten Grenzen ändern läßt. Sie enthalten z. B. Thyratrons oder Thyristoren. Folgende Schaltungen sind für G. gebräuchlich: Bei *Einweg-G.* sind Wechselspannungsquelle, Ventilelement und Verbraucher in Reihe geschaltet, Energienetz und Verbraucherstromkreis meistens durch einen ↑ Netz-

transformator getrennt. Durch die Sperrwirkung der Diode wird eine Halbwelle nahezu unterdrückt, die andere durchgelassen. Nachteilig ist, daß der Gleichstrom stets in gleicher Richtung durch die Sekundärwicklung des Transformators fließt und den Transformatorkern vormagnetisiert. Einweg-G. werden daher vor allem bei geringer Stromstärke, mitunter ohne Transformator, angewendet.

Bei *Zweiweg-* oder *Gegentakt-G.* werden beide Wechselspannungshalbwellen zur Gleichstromgewinnung ausgenutzt. 2 Ventilelemente leiten und sperren den Strom abwechselnd, der Verbraucher liegt im gemeinsamen Zweig der Diodenstromkreise. Jede Wicklungshälfte der Transformator-Sekundärseite ist für die volle gleichzurichtende Spannung dimensioniert. Da die Wicklungshälften in entgegengesetzten Richtungen vom Strom durchflossen werden, tritt keine störende Vormagnetisierung auf. Für Zweiweg-G. wurden spezielle Röhren mit 2 Anoden und gemeinsamer Katode entwickelt.

Auch in der *Graetz-* oder *Brückenschaltung*, benannt nach dem deutschen Physiker *Leo Graetz*, werden beide Wechselspannungshalbwellen ausgenutzt. Durch das Zusammenschalten von 4 Ventilelementen kann die Mittelanzapfung der Transformatorwicklung entfallen.

Der von einem G. abgegebene Gleichstrom besteht aus einzelnen, beim Einweg-G. durch Pausen unterbrochenen Gleichstromimpulsen und ist für die meisten elektronischen Geräte zunächst ungeeignet, da diese einen konstanten, stetig fließenden Gleichstrom erfordern. Der gleichgerichtete Strom muß also noch geglättet werden. Den Ventilelementen wird hierzu ein *Ladekondensator* nachgeschaltet, meistens ein Elektrolytkondensator großer Kapazität (bis zu mehreren 100 μF), der während des Anstiegs der gleichgerichteten Spannung geladen wird und während des raschen Absinkens gespeicherte Ladung an den Verbraucher abgibt. Die Span-



Einweg-Gleichrichter (a), Zweiweg-Gleichrichter (*b*) und Graetz-Schaltung (c)

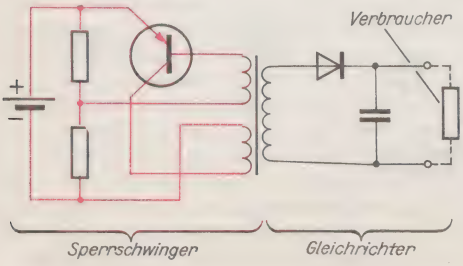
nung am Ladekondensator kann man sich als Gleichspannung mit einer überlagerten Wechselspannungskomponente, der ↑ Brummspannung, vorstellen, die möglichst vermindert werden muß. Sie sinkt mit wachsender Frequenz des gleichzurichtenden Wechselstroms sowie mit zunehmender Kapazität des Ladekondensators und hat bei Einweg-G. Netzfrequenz, bei Zweiweg-G. und Graetz-Schaltung doppelte Netzfrequenz. Jedoch sind der Kapazität des Ladekondensators durch den mit der Kapazität steigenden Ladestrom und die durch diesen hervorgerufene Mehrbelastung des G. Grenzen gesetzt. Zur weiteren Glättung des gleichgerichteten Stromes folgt auf den Ladekondensator eine ↑ Siebkette, meist aus einer Drossel möglichst niedrigen Gleichstrom- und möglichst hohen Wechselstromwiderstands und aus einem *Siebkondensator*, i. allg. ein Elektrolytkondensator großer Kapazität, bestehend. Bei geringer Gleichstromstärke kann die Drossel durch einen Widerstand ersetzt werden. Reicht die erzielte Glättung nicht aus, so führt man die Siebkette mehrgliedrig aus.

Bes. in funktechnischen Geräten muß das Eindringen störender HF-Spannungen über den G. verhindert werden. Dazu erhält der Netztransformator eine geerdete Abschirmung zwischen Primär- und Sekundärwicklung oder die Primär- bzw. Sekundärseite wird durch einen Kondensator bzw. durch 2 in Reihe geschaltete Kondensatoren überbrückt, deren Verbindungspunkt geerdet ist.

Gleichrichterröhre ↑ Diode 1.

Gleichspannungswandler: Baustufe zur Umwandlung einer niedrigen in eine höhere Gleichspannung nach dem Prinzip, die niedrige Gleichspannung in eine Wechselspannung umzuwandeln, diese zu transformieren und dann wieder gleichzurichten. Für die Gewinnung der Wechselspannung, teilweise auch für ihre Wiedergleichrichtung, wurden früher *Zerhacker* benutzt, die nach dem Selbstunterbrecherprinzip (elektrische Klingel) Kontakte öffneten und schlossen. Ihr Wirkungsgrad (<60%) blieb gering, ihre Lebensdauer wegen des Kontaktverschleißes kurz, und sie verursachten wegen der Funkenbildung an den Kontakten Störungen im HF-Bereich.

G. für die Elektronik und Funktechnik werden gegenwärtig mit Transistoren ausgerüstet. Diese *Transverter* arbeiten als ↑ Sperrschwinger



Gleichspannungswandler: Schaltung eines Sperrwandlers

und erzeugen eine Wechselspannung mit einer Frequenz bis etwa 100 kHz bei annähernd rechteckigem Verlauf, die nach ihrer Transformierung gleichgerichtet wird. Es gibt verschiedene Schaltungsmöglichkeiten: Der *Durchflußwandler* ist dadurch gekennzeichnet, daß durch Transistor und gleichrichtendes Bauelement gleichzeitig Strom fließt, während beim *Sperrwandler* der Transistor und das gleichrichtende Element abwechselnd Strom hindurchfließen lassen und der Gleichrichter von der während des Stromflusses durch den Transistor im Magnetfeld des Transformators gespeicherten Energie gespeist wird. Der *Summierwandler* nutzt sowohl Stromfluß- als auch Sperrzeit des Transistors in einer Spannungsverdopplerschaltung aus. Der *Gegentaktwandler* besteht aus 2 abwechselnd arbeitenden Durchflußwandlern und ist bes. für große Leistung geeignet.

Vorteile des Transverters sind vor allem der Wirkungsgrad von etwa 80 %, die hohe Lebensdauer, das Entfallen von Funkenstörungen sowie die leichtere Siebung der Gleichspannung aufgrund der hohen Arbeitsfrequenz. G. werden angewendet, wenn einzelne Baugruppen oder elektronische Geräte aus Akkumulatoren oder Batterien betrieben werden müssen, die Batteriespannung aber als Betriebsspannung zu niedrig ist (Meßgeräte, z. B. Geiger-Müller-Zählrohre, Elektronenblitzgeräte u. a.).

Gleichwellenbetrieb: Betrieb mehrerer Rundfunksender mit gleichem Programm in einem Sendekanal (bes. im MW-Bereich); Voraussetzung für störungsfreien G. ist eine völlige Frequenzübereinstimmung der zusammen betriebenen Sender. Im Unterschied dazu arbeiten beim *Gemeinschaftswellenbetrieb* mehrere Sender mit verschiedenen Programmen in einem Kanal. Der Senderabstand muß dabei möglichst groß, die Leistung möglichst begrenzt sein. Trotzdem sind in Abhängigkeit von den jeweiligen Empfangsbedingungen gegenseitige Störungen kaum vermeidbar. Beide Betriebsarten sind Versuche, trotz beschränkter Kanalzahl möglichst viele Sender arbeiten lassen zu können (in Europa z. B. auf 1 484 kHz über 80 Stationen).

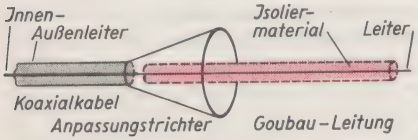
Gleitwegsender und **-empfänger** ↑ Instrumentenlandesystem.

Glimmanzeigeröhre ↑ Ziffernanzeigeröhre.

Glimmentladung ↑ Gasentladungsröhre.

Glimmlampe, *Glimmdiode*: im Bereich der Glimmentladung wirkende Gasentladungsröhre mit kalter Katode, gefüllt mit einer unter niederem Druck (≈ 1,33 kPa [10 Torr]) stehenden Neon-Helium-Mischung. Der Abstand der platten-, korb- oder drahtförmigen Elektroden ist so gering, daß hauptsächlich das die Katode bedeckende Glimmlicht sichtbar wird. Wegen der geringen Stromaufnahme (herab bis zu Werten von < 1 mA) werden G. vor allem als Signallampen eingesetzt; der erforderliche Begrenzungswiderstand (↑ Gasentladungsröhre) ist hier meist im Sockel untergebracht. Auch in ↑ Sägezahngeneratoren und ↑ Torschaltungen werden G. verwendet. Da die Brennspannung einer G. vom hindurchfließenden Strom nahezu unabhängig ist, eignet sie sich ferner zur ↑Spannungsstabilisierung.

Glimmrelais ↑ Kaltkatodenröhre.
Glühemission ↑ Elektronenemission.
Glühkatodengleichrichter ↑ Diode 1.2.
Goubau-Leitung: nach dem deutsch-amerikanischen Physiker *Georg Johann Ernst Goubau* benannter ↑ Wellenleiter zur verlustarmen Übertragung von elektromagnetischen Wellen des Höchstfrequenzbereichs über Entfernungen bis zu mehreren Kilometern. Die G. besteht aus einem Leiter, der von einer dicken Schicht hochwertigen Isoliermaterials bedeckt ist (Außendurchmesser oft ein Mehrfaches des Leiterdurchmessers). Die unterschiedliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen im Leiter und im umgebenden Dielektrikum hat eine Konzentration des elektromagnetischen Feldes innerhalb eines gedachten „Schlauchs" um die G. zur Folge, dessen Radius kleiner als die Wellenlänge der HF-Schwingungen ist. In diesem Schlauch werden >90% der HF-Energie transportiert; Energiezuführung und -entnahme am Leitungsende geschehen durch je einen *Anpassungstrichter*. Er ist mit dem Außenleiter eines Koaxialkabels verbunden und seine Öffnung der G. zugewandt, während der Innenleiter des Koaxialkabels mit der G. verbunden wird. Der G. kann „unterwegs" Energie entnommen werden, indem man eine Leiterschleife dem „Schlauch" nähert.
Die G. wird angewendet, wenn Fernsehempfangsantennen in großer Entfernung vom Empfänger aufgestellt werden müssen (z. B. auf einem Hügel oberhalb eines schmalen Tales), sowie zur Speisung der Sendeantennen von VHF- und UHF-Sendern.



Anschluß einer Goubau-Leitung an ein Koaxialkabel

Graetz-Schaltung ↑ Gleichrichter.
Grenzfrequenz: 1. ↑ Bandbreite. – **2.** ↑ Ionosphäre.
Grenzschicht ↑ *pn*-Übergang.
Grenzwellen: Bez. für Wellen im Grenzbereich zwischen Kurz- und Mittelwellen; ↑ Frequenzbereiche.
Großschaltkreis ↑ Halbleiterblocktechnik.
Großsignalverstärkung: Steuerung verstärkender Bauelemente durch Signale solcher Amplitude, daß die ausgesteuerten Kennlinienteile nicht mehr als geradlinig, die angegebenen Kenndaten (z. B. bei Transistoren die *h*-Parameter) nicht mehr als konstant angesehen werden können. Daher werden zur Ermittlung der Verstärkerkennwerte und -eigenschaften grafische Methoden bevorzugt, deren Grundlage die Kennlinienfelder der verstärkenden Bauelemente sind. G. liegt u. a. meist in den Endstufen von ↑ Verstärkern vor. Vgl. Kleinsignalverstärkung.
***G*-Schicht** ↑ Ionosphäre.

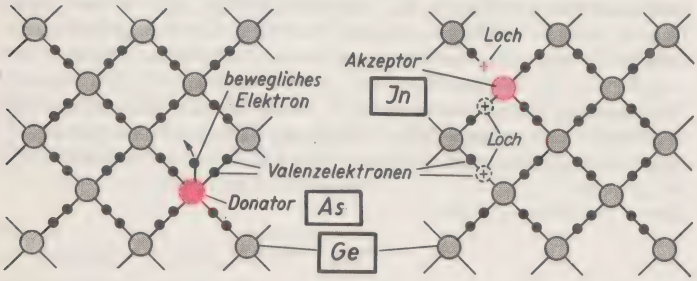
Gunn-Element (auch *Gunn-Diode*): Halbleiterbauelement, insbes. zur Erzeugung von Schwingungen im Höchstfrequenzbereich, bestehend meist aus einem dünnen (Dicke bis einige 10 μm), *n*-leitenden Galliumarsenid-Plättchen, an dessen 2 Anschlüsse eine Spannung von wenigen Volt gelegt wird. Die Wirkungsweise des G. beruht auf dem 1963 von dem britischen, in den USA lebenden Physiker *J. B. Gunn* untersuchten Effekt: Unter dem Einfluß der angelegten Spannung wechseln Elektronen zwischen 2 Leitungsbändern, in denen die Elektronen unterschiedlich beweglich sind (↑ Bändermodell). Es entstehen dabei schmale Zonen hoher Feldstärke (sog. *Hochfeldzonen*) mit einer Störung der Ladungsträgerverteilung (Ausbildung einer Dipolschicht oder *Domäne*), und der Widerstand des Galliumarsenids wird örtlich negativ. Die Domänen wandern, sich am negativen Anschluß ständig neu bildend, mit der Driftgeschwindigkeit der Elektronen zum positiven Anschluß. Die an der Anode ankommenden Stromimpulse können einen Schwingungskreis anregen. Die Frequenz der entstehenden Schwingungen hängt von der Driftgeschwindigkeit und vom -weg ab und kann 150 GHz erreichen. Daraus resultiert die Anwendungsmöglichkeit des G. als Oszillator bzw. Sender für den Höchstfrequenzbereich. Im Dauerbetrieb werden Leistungen < 1 W, im Impulsbetrieb > 200 W bei etwa 10 GHz erreicht. Wegen seiner geringen Abmessungen ist das G. für Klein-Radar- und Richtfunkgeräte geeignet. Seine Einsatzmöglichkeiten für logische Schaltungen hoher Schaltgeschwindigkeit und ↑ Speicher werden untersucht und erprobt.
Güte ↑ Schwingungskreis.

H

Halbleiter: chemische Elemente oder Verbindungen, deren spezifischer Widerstand bei Zimmertemperatur zwischen $10^{-4}\Omega \cdot$ cm und $10^{10}\Omega \cdot$ cm liegt und deren elektrische Eigenschaften, vor allem Leitfähigkeit, aber auch ↑ Hall-Effekt, Thermospannung u. a. sehr stark von der Temperatur, von eingelagerten Fremdatomen, Strahlungswirkung, mechanischer Beanspruchung und von der umgebenden Atmosphäre abhängen. Bei sehr tiefer Temperatur verhalten sich H. praktisch wie Isolatoren, bei sehr hoher Temperatur kann ihr Verhalten demjenigen metallischer Leiter nahekommen.
Die technisch wichtigsten H. sind Silizium, Germanium sowie Selen, Bleisulfid, Kadmiumsulfid, Siliziumkarbid, ferner sog. A^{III}-B^{V}-Verbindungen, die aus je einem Element der Hauptgruppen III und V des Periodensystems bestehen, z. B. Indiumantimonid und -arsenid, Gallium- und Indiumphosphid, Galliumarsenid. Organische Verbindungen mit H.eigenschaften, z. B. einige Polymere, werden auf Nutzungsmöglichkeiten untersucht.

Die elektrischen Leitungsvorgänge in H. lassen sich mittels des ↑ Bändermodells klären. Man unterscheidet 3 Leitungstypen, im folgenden dargestellt am Beispiel eines Germanium-Einkristalls (für andere H.werkstoffe gelten entspr. Überlegungen):

1. Eigenleitung: Die für die elektrische Leitfähigkeit erforderlichen Ladungsträger entstammen ausschl. dem H.material selbst. Durch Energiezufuhr (z. B. Wärme, Licht) können Elektronen des Valenzbands den relativ schmalen verbotenen Bereich (0,72 eV, vgl. Bändermodell) überwinden und ins Leitungsband gelangen, wo sie frei beweglich sind. Jedes abgewanderte Elektron hinterläßt im Valenzband eine Lücke, *Loch* genannt. Dieses verhält sich, da an seinem Platz eine negative Ladung fehlt, wie eine positive Ladung. Es kann von einem Elektron „aufgefüllt" werden, das einem anderen Atom des Valenzbands entstammt. Dabei entsteht am ehemaligen Platz des „auffüllenden" Elektrons ein neues Loch, das seinerseits von einem weiteren Elektron besetzt werden kann usw. Ein Loch ist daher im Valenzband ebenso beweglich (unter Beachtung der eben genannten Wechselwirkung!) wie ein Elektron im Leitungsband. Wegen dieses Verhaltens betrachtet man Löcher häufig als *Quasiteilchen* und bez. sie als *Defektelektronen*. Bei der Eigenleitung werden stets Ladungsträgerpaare (Elektron/Defektelektron) erzeugt. Ihre Anzahl je Raum- und Zeiteinheit steigt mit der Temperatur, wodurch die Leitfähigkeit des H.werkstoffs zunimmt. Gleichzeitig mit der *Paarerzeugung* läuft der umgekehrte Vorgang ab, die *Rekombination* von Elektronen und Defektelektronen, wodurch Ladungsträgerpaare verschwinden. Es stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein, bei dem in der Raumeinheit ebensoviele Ladungsträgerpaare verschwinden wie neue entstehen. Daraus folgt, daß das Produkt der Ladungsträgerkonzentration (Elektronen bzw. Defektelektronen in der Raumeinheit) bei gleichbleibender Temperatur konstant ist (sog. Massenwirkungsgesetz der Ladungsträger in H.). Wird an den Germaniumkristall eine elektrische Spannung gelegt, so wandern unter dem Einfluß des elektrischen Feldes



Halbleiter: Kristallgitter von *n*-Germanium (*links*), mit As-Atomen (rot) dotiert, und von *p*-Germanium (*rechts*), mit In-Atomen (rosa) dotiert

Elektronen zum positiven Anschluß, Defektelektronen durch ständiges wechselweises Entstehen und Füllen von Löchern zum negativen. Dadurch fließt ein Elektronen- und ein Defektelektronenstrom. Eigenleitung tritt in H. stets auf, unabhängig von einem der nachstehend beschriebenen Leitungstypen.

Störstellenleitung, als gemeinsame Bez. für die beiden folgenden Leitungstypen, liegt vor, wenn die elektrische Leitfähigkeit des H. durch Ladungsträger hervorgerufen wird, die durch das Einbringen von Fremdatomen als Störstellen (sog. *Dotierung* mit 5- bzw. 3wertigen Atomen) bereitgestellt werden. Bereits eine sehr niedrige Störstellenkonzentration genügt, um die Leitfähigkeit entscheidend zu verändern (für Germanium z. B. bei 1 Störstelle auf 10^8 Atome bereits um 1 Größenordnung). Man kann daher einerseits durch entspr. Dotierung die Leitfähigkeit eines H. in weiten Grenzen verändern, muß anderseits aber „ungewollte" Störstellen (Verunreinigungen des Materials durch Fremdatome möglichst vermeiden.

2. *n*-Leitung, *Überschuß-* oder *Elektronenleitung*: Wird 4wertiges Germanium (Ge) mit Atomen eines 5wertigen Elements, z. B. Arsen (As), dotiert, so ordnen sich die Störstellen in das Kristallgitter ein. Von den 5 Valenzelektronen jedes Arsenatoms werden aber nur 4 durch benachbarte Germaniumatome gebunden, das 5. ist „überschüssig" und tritt in das Leitungsband über. Als freie Ladungsträger stehen damit negative Elektronen zur Verfügung, die nicht durch Paarbildung entstanden, sondern durch elektronenabgebende Störstellen, *Donatoren*. Man nennt mit Donatoren dotiertes Germanium *n-Germanium*.

3. *p*-Leitung, *Mangel-* oder *Defektelektronenleitung*: Wird 4wertiges Germanium mit Atomen eines 3wertigen Elements, z. B. Indium (In), dotiert, fehlt jedem In-Atom ein Valenzelektron zur Bindung mit den benachbarten Ge-Atomen. In die Lücke rückt ein Nachbarelektron eines Ge-Atoms ein und damit ist ein Loch vorhanden, das dann in der oben beschriebenen Weise durch den H. wandern kann. Als Ladungsträger dienen jetzt positive Defektelektronen, die nicht durch Paarbildung entstanden, sondern durch elektronenaufnehmende Störstellen, *Akzeptoren*. Man nennt mit Akzeptoren dotiertes Germanium *p-Germanium*.

Da es nicht möglich ist, einen der beiden Leitungstypen (abgesehen von der stets vorhandenen Eigenleitung) „rein" zu erhalten, nennt man die in der Überzahl vorhandenen und damit den Leitungstyp bestimmenden Ladungsträger *Majoritätsträger*, die in der Minderzahl vorhandenen *Minoritätsträger*.

Die Möglichkeit, H. unterschiedlichster Leitfähigkeit und verschiedenen Leitungstypus zu gewinnen, vor allem aber die Möglichkeit, in einem H. Gebiete verschiedenen Leitungstypus aneinandergrenzen zu lassen (↑ *pn*-Übergang), sind für die Elektronik von größter Bedeutung.

Halbleiterbauelement: passives oder aktives Bauelement der Elektronik, dessen Wirkung auf der Beeinflussung der elektrischen Leitfähigkeit von ↑ Halbleitern oder auf Vorgängen an ↑ *pn*-Übergängen beruht. Nach ihrer

Wirkungsweise können *Volumen-H.*, die meist aus polykristallinem Halbleitermaterial bestehen und regellos im Volumen verteilte mikroskopische *pn*-Übergänge besitzen, und *Sperrschicht-H.*, die in einem ↑ Einkristall einen oder mehrere flächenhafte, technologisch erzeugte *pn*-Übergänge enthalten, unterschieden werden. Andere, nicht einheitliche Einteilungen der H. beziehen sich auf Ausgangsmaterial und angewendete ↑ Halbleitertechnologie, Anwendungsbereich, Zahl der Elektroden (bzw. Anschlüsse) usw.

Einordnung wichtiger Halbleiterbauelemente

steuernde Größe bzw. auslösender Effekt	Volumenhalbleiterbauelement	Sperrschichthalbleiterbauelement
Wärmeenergie	Heißleiter	Thermoelement
Lichtenergie	Fotowiderstand	Fotodiode Fotoelement
elektrische Energie		Halbleiterkühlelement
mechanische Energie	Dehnungsmeßstreifen	
magnetisches Feld	Feldplatte	Magnetdiode
elektrisches Feld		Feldeffekttransistor
ungesteuerter Gleichrichtereffekt an *pn*-Übergängen		Gleichrichter-Diode, DIAC
gesteuerter Gleichrichtereffekt an *pn*-Übergängen		Thyristor, TRIAC
Stromverstärkung durch benachbarte *pn*-Übergänge		Bipolartransistor
Elektrolumineszenz		Lumineszenzdiode
induzierte Emission		Halbleiter-Laser

Halbleiterblocktechnik: vor allem aus der Planartechnik sowie der Anwendung der Epitaxie (vgl. Halbleitertechnologie) hervorgegangene Verfahren der Mikroelektronik zur Herstellung von Festkörper-↑ Schaltkreisen, dadurch gekennzeichnet, daß elektronische Schaltungen mit allen aktiven und passiven Bauelementen in meist einkristallinen Siliziumscheiben von 0,1 bis 0,2 mm Dicke selbst erzeugt werden (*monolithische Technik*). Bauelemente und Schaltkreise werden hergestellt, indem man Leitfähigkeit und Leitungstypus bestimmter Schichten oder Bezirke durch Dotieren, Aufbringen epitaktischer oder isolierender Schichten verändert, wobei weitgehend die Maskentechnik angewendet wird.

Bei den Herstellungsverfahren der H. ist zwischen Bipolar- und MIS-Technik (vgl. Schaltkreis) zu unterscheiden. Bei ersterer werden Transistoren und Dioden in Planartechnik erzeugt. Zur Gewinnung von Widerständen wird die Leitfähigkeit bestimmter Gebiete entspr. verändert; Werte bis zu mehreren 10 kΩ sind realisierbar. Kondensatoren werden

durch die an Sperrschichten auftretende Kapazität (vgl. Diode 2.) oder durch eine Schichtenfolge Leiter-Dielektrikum-Leiter dargestellt. Da sie im Vergleich zu anderen Bauelementen relativ viel Substratfläche beanspruchen, ist nur eine Kapazität bis etwa 10^3 pF möglich. Man ist um Schaltungskonzeptionen bemüht, die ohne Kondensatoren auskommen.

Im Unterschied zur Dünn- und Dickschichttechnik ist das Substrat der H. kein Isolator; daher müssen die Bauelemente gegeneinander isoliert werden. Hierfür sind 2 grundsätzliche Verfahren gebräuchlich: Bei der *Sperrschichtisolation* nutzt man die Sperrwirkung von *pn*-Übergängen. Man dotiert z. B. das Grundmaterial so, daß es *p*-leitend wird. Dort, wo Bauelemente eingebracht werden sollen, werden zunächst *n*-leitende *Isolierwannen* hervorgerufen, die vom Substrat allseitig durch einen *pn*-Übergang getrennt sind. Wird zwischen Substrat und Isolierwanne eine entspr. Vorspannung gelegt, können keine Ladungsträger aus der Isolierwanne den *pn*-Übergang passieren (vom unvermeidbaren Sperrstrom abgesehen); die in der Isolierwanne eingebetteten Bauelemente bleiben von der übrigen Schaltung elektrisch getrennt.

Die *dielektrische Isolation* ist in mehreren Varianten gebräuchlich. Bei ihr sind die *pn*-Übergänge an den Rändern der Isolierwannen durch nichtleitende Schichten, z. B. aus Siliziumdioxid, ersetzt oder man erzeugt durch Ätzvorgänge „Inseln", die voneinander getrennt sind und jeweils 1 Bauelement enthalten. Bei der *beam-lead-Technik* [engl., etwa Trägeranschlußtechnik] werden die Bauelemente durch Wegätzen des Si-Substrats zwischen ihnen völlig getrennt. Die Schaltung wird lediglich durch die metallischen Leiterbahnen zusammengehalten, die so verstärkt werden, daß sie ein tragendes „Gitter" bilden, und zu Anschlußfahnen (nach außen führende Anschlüsse) verlängert werden können. In Sonderfällen, bei denen hoher Aufwand vertretbar ist, geht man von einer Saphirscheibe als Grundmaterial mit bes. guten Isoliereigenschaften aus, auf der Siliziuminseln erzeugt werden, in denen Bauelemente untergebracht sind.

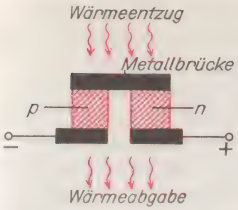
Verbindungen werden als Leiterbahnen z. B. aus Aluminium oder Gold auf die die Bauelemente schützende Oxidschicht gebracht und an den für die äußeren Anschlüsse vorgesehenen Enden erweitert. Von diesen Anschlußstellen führen Drähte, meist durch Thermokompression mit der Schaltung verbunden, zu Anschlußfahnen oder -stiften. Diese sind Teile des Gehäuses (vgl. integrierte Schaltung), in dem die fertige Schaltung geschützt wird.

Die anfänglich übliche Methode, komplizierte Schaltungen aus in H. gefertigten einfachen Schaltkreisen durch äußere Verbindungen zu bilden, hebt die Vorteile der H. durch Zuverlässigkeitsverlust, weniger Raumersparnis u. a. teilweise auf. Wichtiges Ziel der H. ist daher Erhöhung des Integrationsgrades, erreicht z. B. durch *Großschaltkreise* [Abk. *LSI*, von engl. *L*arge *S*cale *I*ntegration, Integration in großem Umfang], in denen zahlreiche Einzelschaltungen (z. B. logische Grundschaltungen, Flip-Flop-Stufen) vereint sind. Großschaltkreise können bis

$> 10^4$ Bauelemente (z. B. die gesamte „Elektronik" eines Taschenrechners) enthalten. Daneben ist *Mittel-* und *Klein-Gruppen-Integration* mit entspr. geringerer Bauelementezahl üblich [Abk. *MSI* bzw. *SSI*, von engl. *M*edium *S*cale *I*ntegration bzw. *S*mall *S*cale *I*ntegration].
Eine weitere wichtige Zielstellung der H. ist die Vereinfachung und Verminderung der Fertigungsschritte (z. B. weniger Masken, weniger Diffusionsvorgänge). Beiden Zielen kommt die *MOS-* bzw. allg. die *MIS-Technik* (vgl. Schaltkreis, Transistor 2.) entgegen. Sie benutzt im Gegensatz zur anfänglich nur mit bipolaren Transistoren (vgl. Transistor 1.) arbeitenden H. Feldeffekttransistoren vom Anreicherungstyp (*p-* oder *n*-Kanal) und Widerstände. Anreicherungstypen sind „selbstisolierend", wodurch die bei der Bipolartechnik notwendigen Isoliermaßnahmen entfallen. Abmessungen der Bauelemente und Zahl der Fertigungsschritte sowie Leistungsbedarf nehmen ab; die Arbeitsgeschwindigkeiten der bipolaren H. werden jedoch noch nicht erreicht.
Eine spezielle Form der MOS-Technik ist die *CMOS-Technik* [Abk. von engl. *C*omplementary-*M*etal-*O*xide-*S*emiconductor, komplementärer Metall-Oxid-Halbleiter], bei der *p-* und *n*-Kanal-Anreicherungstypen auf einem Chip enthalten sind (vgl. Transistor 1.2.). Die H. ist gegenwärtig dasjenige Verfahren der Mikroelektronik, das die höchste Zuverlässigkeit und den größten Miniaturisierungsgrad bietet (z. B. ≈6 000 Transistoren auf 25 mm^2 Substratfläche). Sie ist bes. für eine große Anzahl immer wiederkehrender Schaltungen geeignet, wie sie vor allem für die Verarbeitung binärer Signale, z. B. in der Datenverarbeitungstechnik und BMSR-Technik, benötigt werden. Zur Erhöhung der Anwendungsmöglichkeiten werden Universalschaltungen produziert, die so ausgelegt sind, daß sie durch Hinzufügen weniger äußerer Bauelemente vielfältig einsetzbar sind. Eine andere Lösung sind *Matrix-Schaltkreise*, Substrate, in deren Oberfläche eine große Anzahl häufig benötigter Bauelemente eingearbeitet sind, die je nach der geforderten Schaltung wahlweise miteinander verbunden werden.

Halbleiterdruckwandler: Halbleiterbauelement bes. zur Messung rasch wechselnder und hoher Drücke, beruhend auf der durch Druckeinwirkung verursachten Verschiebung der Energiebänder (↑ Bändermodell) und der infolgedessen auftretenden Widerstandsänderung.

Halbleiterkühlelement, *Peltier-Element*: Bauelement auf der Grundlage des Peltier-Effekts (*Jean-Charles-Athanase Peltier*), der Umkehrung des Seebeck-Effekts (vgl. Thermoelement): Fließt Strom durch eine aus 2 verschiedenen leitenden Stoffen zusammengesetzte Schleife, tritt zwischen beiden Verbindungsstellen eine Temperaturdifferenz auf. Sie kann, insbes. bei Verwendung von Halbleitern (z. B. Wismut-Tellur- und Wismut-Antimon-Verbindungen), zum Kühlen genutzt werden.
2 Schenkel aus *p-* bzw. *n*-leitendem Material verbinden eine Metallbrücke. In der gezeichneten Polung entzieht sie der Umgebung Wärme, während an den entgegengesetzten Schenkelenden Wärme an die Umgebung abgegeben wird.



Aufbauprinzip eines Halbleiterkühlelements

H. benötigen Gleichstrom mit Spannungen < 1 V, aber relativ großer Stärke (mehrere 10 A). H., die sich zu Batterien zusammenschalten lassen, werden u. a. zur Kühlung von Medikamenten und mikroskopischen Präparaten, zur örtlichen Reizunterbindung bei Operationen, als „Kühlquelle" für Kühlgefäße und in Sonderfällen z. B. zur Kühlung von Lebensmitteln angewendet. Da sie bei Umkehr der Stromrichtung als „Wärmeelemente" wirken, scheinen sie für einfache, wartungsfrei arbeitende Temperaturregeleinrichtungen aussichtsreich.

Halbleitertechnologie: i. w. S. alle Methoden und Verfahren zur Produktion von Halbleiterbauelementen und zur Herstellung von Halbleitereinkristallen, i. e. S. von Halbleiterbauelementen und, davon abgeleitet, von Festkörperschaltkreisen (vgl. Halbleiterblocktechnik) auf der Grundlage von ↑ Einkristallen und ↑ *pn*-Übergängen in diesen. Die H. wurde bes. an Germanium und Silizium ausgearbeitet, wird aber (entspr. abgewandelt) für andere Halbleiterwerkstoffe genutzt.

An die *Reinheit der Ausgangsstoffe* stellt die H. extreme Forderungen. So darf z. B. Germanium oder Silizium häufig nur 1 „verunreinigendes" Atom auf 10^9 bis 10^{12} Ge- bzw. Si-Atome enthalten. Diese hohe Reinheit wird – nach der Vorreinigung mit chemischen und physikalischen Methoden – mit Hilfe des *Zonenschmelzverfahrens* erzielt. Das zu reinigende Germanium wird in einem Graphittiegel in ein mit Schutzgas gefülltes Quarzrohr gebracht. Durch ↑ Hochfrequenzerwärmung mittels sich langsam in Längsrichtung über das Rohr bewegender Spulen entstehen wandernde Schmelzzonen, in denen sich die Verunreinigungen (wegen unterschiedlicher Löslichkeit in fester und flüssiger Phase) anreichern, während sie im wiedererstarrenden Germanium abnehmen. Nach Wiederholung der Zonenerwärmung entsteht ein Ge-Barren, dessen eines Ende die nötige Reinheit aufweist, während das andere stark verunreinigt ist und dem Aufbereitungsprozeß erneut zugeführt wird. Für Silizium, bei dessen hohem Schmelzpunkt eine Verunreinigung der Schmelze durch das Material des Tiegels nicht zu verhindern wäre, wird als Variante das tiegelfreie *Schwebezonen(schmelz)verfahren* angewendet. Hierbei ist ein polykristalliner Si-Stab in einem evakuierten oder mit Schutzgas gefüllten Quarzrohr senkrecht eingespannt. Die mehrmals langsam von unten nach oben geführte HF-Heizspule schmilzt jeweils nur eine so schmale Zone des Stabes auf, daß diese durch Oberflächenspannung und Kohäsion zusammengehalten wird. In jüngster Zeit werden auch ↑ Elektro-

nenstrahlschmelzen und Zonenschmelzverfahren kombiniert, oder das Material wird nach dem Zonenschmelzverfahren vor- und anschließend nach dem Schwebezonenverfahren weitergereinigt.

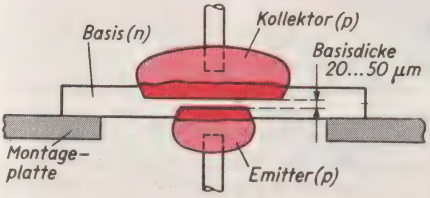
Bereits beim Zonenschmelzverfahren können *Einkristalle* entstehen, doch sind meist weitere Schritte für den erforderlichen ungestörten Kristallaufbau nötig. Einkristallstäbe bis >80 mm Durchmesser erhält man, indem ein Kristallkeim in die Schmelze des gereinigten Germaniums oder Siliziums getaucht und in Schutzgas oder unter Vakuum erschütterungsfrei und unter ständiger langsamer Drehung um eine senkrechte Achse langsam aus der Schmelze gezogen wird. Ein anderes Verfahren benutzt einen Tiegel für das Halbleitermaterial, der so geformt ist, daß von den anfänglich vorhandenen oder gebildeten Kristallkeimen nur einer weiterwachsen kann.

Zur Aufbereitung anderer Halbleiterwerkstoffe werden ähnliche Verfahren angewendet. Insbes. dünne Einkristallschichten kann man auch mit Hilfe der Epitaxietechnik (s. u.) erhalten. Der Kristallstab wird in Scheiben, sog. *Wafer* (engl. Oblate, Waffel, meist nur Bruchteile eines Millimeters dick), zersägt, deren Oberflächen geläppt, poliert, geätzt und gereinigt werden. Diese Scheiben sind Ausgangsprodukt für die gleichzeitige Herstellung vieler Dioden, Transistoren und Schaltkreise.

Die *Dotierung* des Halbleitermaterials kann bereits während des Kristallwachstums geschehen, z. B. indem der Schmelze Dotierungsstoffe zugefügt werden, die beim Erstarren in das Kristallgitter eingebaut werden. Setzt man dem Halbleitermaterial Dotierungsstoffe niedriger Schmelztemperatur auf, werden diese bei Erhitzung teilweise in das Halbleitermaterial einlegiert; beim Abkühlen werden Atome des Dotierungsstoffes in das Kristallgitter des Halbleitermaterials eingebaut (s. u. Legierungstechnik). Von größter Bedeutung für die H. ist die Dotierung durch *Diffusion*. Die zu dotierenden Stoffe und das Dotierungsmaterial befinden sich zunächst voneinander getrennt z. B. in einem Quarzrohr. Bei hohen Temperaturen (z. B. $\leqq 1\,500$ K für Silizium) dringen Atome aus einem mit Dotierungsstoffen angereicherten Trägergas bzw. aus einer festen Oberflächenschicht in das Halbleitermaterial ein. Der verhältnismäßig langsam laufende Diffusionsprozeß ist über Zeit, Temperatur und Oberflächenkonzentration des Dotierungsmaterials gut zu führen. Zur *Ionenimplantation* werden die Dotierungsstoffe in einer Gasentladung ionisiert und durch elektrische oder bzw. und magnetische Felder von unerwünschten Ionen durch deren anderes Verhältnis zwischen elektrischer Ladung und Masse getrennt. Anschließend werden sie zu einem Strahl gebündelt, auf hohe Geschwindigkeit beschleunigt und durch ein Ablenksystem (vgl. Elektronenstrahlröhre) über die Oberfläche des zu dotierenden Materials geführt, wobei Ionen in dieses „eingeschossen" werden. Dieser Vorgang verläuft im Vakuum bei normalen Temperaturen. Durch einen anschließenden Temperungsprozeß bei 400 bis 900 °C werden die beim Ionenbeschuß entstandenen Gitterstörungen „ausgeheilt" und die eingeschossenen Ionen auf reguläre Gitterplätze gebracht.

Menge und Eindringtiefe des Dotierungsstoffes lassen sich gut dosieren, hohe Genauigkeit der Geometrie der dotierten Gebiete wird erreicht. Mit Hilfe der *Epitaxie*, dem Aufwachsen einkristalliner Schichten gleicher Kristallstruktur auf Einkristallscheiben, können Schichtenfolgen unterschiedlicher Leitfähigkeit und bzw. oder unterschiedlichen Leitungstypus, aber auch einkristalline Schichten halbleitender Verbindungen auf elementaren Halbleiter-Einkristallen, erzeugt werden. Das geschieht z. B., indem man erhitzte Siliziumscheiben (> 1 500 K) von Wasserstoff umströmen läßt, dem eine Siliziumverbindung und der Dotierungsstoff beigemischt werden. Dabei wächst den Scheibenoberflächen eine einkristalline, dotierte Siliziumschicht auf. Die Anwendung der Epitaxie bietet eine große Variationsbreite in Wahl und Kombination der elektrischen Parameter von Halbleitern.

Zur *Erzeugung von pn-Übergängen* werden die beschriebenen Dotierungsverfahren verwendet. Bei der *Legierungstechnik* werden von beiden Seiten eines meist *n*-leitenden Halbleiterplättchens „Pillen" des Dotierungsstoffs aufgesetzt und einlegiert (Abb. *1*). Durch sorgfältige Prozeßführung wird erreicht, daß der *pn*-Übergang eine nahezu ebene Fläche bildet.

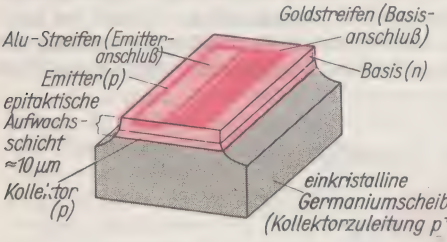


Halbleitertechnologie, Abb. *1*: Durch Legierungstechnik hergestellter *pnp*-Transistor

Bei der *Diffusionstechnik* entstehen die *pn*-Übergänge durch Diffusion der Dotierungsstoffe. Ihre Eindringtiefe hängt außer vom Material von der Temperatur und der Zeit ab. Wird z. B. *n*-leitendes Silizium gleichzeitig Antimon- und Aluminiumdämpfen ausgesetzt, so dringen die Al-Atome schneller ein als die Sb-Atome. Wird dieser Doppeldiffusionsprozeß nach einer bestimmten Zeit abgebrochen, dann weist der Kristall 3 Schichten auf (*npn*-Typ): In der Tiefe bleibt er *n*-leitend. Darüber liegt eine durch zahlreiche eingebettete 3wertige Al-Atome *p*-leitende Schicht, der wieder eine *n*-leitende Schicht folgt, die durch Sb-Atome gebildet wird. Die Konzentration der Dotierungsstoffe nimmt in Richtung des Eindringens ab. Dabei entsteht zusätzlich ein inneres elektrisches Feld, das z. B. in Transistoren ausgenutzt wird, um Ladungsträger zu beschleunigen. Die Diffusionstechnik ermöglicht, großflächige *pn*-Übergänge mit geringen Toleranzen zu erzeugen, z. B. in Dioden für große Leistung, Leistungstransistoren und Thyristoren.

Die *Mesatechnik* stellt eine Kombination von Legierungs- und Diffusionstechnik dar. Die später als Kollektor dienenden *p*-leitenden

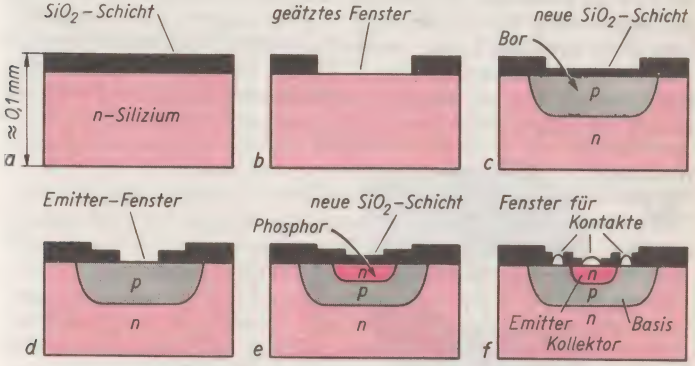
Ge-Scheiben werden durch Diffusion mit einer 1 bis 2 μm dicken *n*-Schicht versehen, die später die Basis des Transistors bildet. Auf die *n*-Schicht werden mit Hilfe einer Maske (s. u.) im gegenseitigen Abstand von nur $\approx$10 μm nacheinander paarweise Gold- und Aluminiumstreifen (Abmessungen z. B. 50 μm · 20 μm) gedampft, die nach der Trennung jeweils den Basis- und Emitteranschluß eines Transistorsystems darstellen. Durch einen Legierungsprozeß bilden die Al-Streifen mit der *n*-Schicht einen *pn*-Übergang, die Au-Streifen einen sperrschichtfreien Kontakt. Damit ist die Schichtenfolge *pnp* des Transistors erreicht. Das überschüssige Germanium zwischen den Streifenpaaren wird weggeätzt, wodurch die für die Mesatechnik charakteristische Form [span. mesa, Tisch, Tafelberg] entsteht, und die einzelnen Systeme werden dann voneinander getrennt (Abb. 2). Statt Germanium ist auch Silizium als Ausgangsmaterial verwendbar



Halbleitertechnologie, Abb. 2: In Mesa-Technik hergestellter Germanium-*pnp*-Transistor

Die *Planartechnik* in Verbindung mit der Fotolithographie und Chemigraphie ist eine Weiterentwicklung der Diffusionstechnik und hat gegenwärtig die größte Bedeutung für die H. Die *pn*-Übergänge entstehen von vornherein in ihren endgültigen Abmessungen und sind bereits während der Erzeugung gegen schädliche Umwelteinflüsse geschützt. Meist geht die Planartechnik von Si-Einkristallscheiben aus. Zur Herstellung z. B. eines Transistors vom *pnp*-Typ (Abb. 3) wird *n*-leitendes Silizium mit einer Schutzschicht aus sehr widerstandsfähigem Siliziumdioxid oder -nitrid überzogen (*a*) und darin ein Fenster eingeätzt (*b*), durch das z. B. Boratome diffundieren und im Kristallinnern einen *pn*-Übergang bilden (*c*). Das Fenster wird dann durch eine SiO_2-Schicht wieder geschlossen und in diese ein weiteres, kleineres Fenster geätzt (*d*), durch das z. B. Phosphoratome diffundieren und einen weiteren *pn*-Übergang bilden (*e*). Auch dieses Emitter-Fenster wird durch SiO_2 geschlossen. In diese Deckschicht werden abschließend nochmals kleine Fenster geätzt und auf die darunterliegende Basis und den Emitter metallische Anschlüsse gedampft (*f*). Zur Herstellung der Fenster bedient man sich der *Maskentechnik* in Verbindung mit der *Fotolithographie*: Sämtliche auf einer Si-Scheibe bei einem Arbeitsgang anzubringenden Fenster sind auf einer Fotoschablone festgehalten, die durch Verkleinerung einer entspr. Vorlage entsteht. Die Si-Scheibe wird mit lichtempfindlichem Fotolack

überzogen und durch die Fotoschablone belichtet. An belichteten Stellen härtet der Lack aus, an unbelichteten nicht; letztere werden ausgewaschen. Beim anschließenden Ätzen werden nur Flächenstücke angegriffen, die nicht vom Lack geschützt sind. Nach Beseitigung dieses Lacks ist die Si-Schicht mit einer der Vorlage entspr. *Diffusionsmaske* aus SiO_2 überzogen, durch deren Durchbrüche der erste Dotierungsstoff diffundieren kann. Für den nächsten Diffundierungsvorgang wird das Verfahren mit einer anderen Fotoschablone wiederholt. Die beim Diffundieren unvermeidbare geringfügige seitliche „Streuung" des Dotierungsmaterials unter dem Maskendurchbruch läßt sich durch Anwendung der Ionenimplantation entscheidend verringern. Zur Bedampfung mit Metall dient eine Wechselmaske, d. h. eine Metallschablone mit Durchbrüchen, die den aufzudampfenden Flächen entsprechen. Die Wechselmaske wird unmittelbar vor der Si-Scheibe angebracht, und der Metall-



Halbleitertechnologie, Abb. 3: Fertigung eines *npn*-Transistors in Planartechnik

dampf dringt durch die Durchbrüche zur Si-Oberfläche vor. Durch Aufsetzen von Meßspitzen eines sog. Sondentasters auf die Kontaktflächen werden die Einzelbauelemente auf der Si-Scheibe ausgemessen. Durch mechanisches Ritzen und Brechen der Si-Scheibe erhält man kleine Halbleiterplättchen (↑ Chips). Diese werden in einem Lötprozeß unter Verwendung eines Goldplättchens als Lot auf einem sog. Trägerstreifen, der die nach außen führenden Anschlüsse trägt, oder auf einem Sockel befestigt.

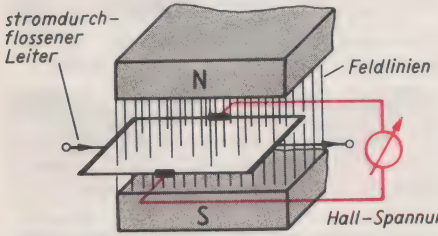
Die Anschlüsse an die Halbleiterbauelemente müssen nach Sonderverfahren angebracht werden, da bei den geringen Kontaktflächen für die Elektroden herkömmliches Löten oder Schweißen nicht anwendbar sind.

Bes. Bedeutung hat die *Thermokompression* erlangt, die Verbindung verschiedener Metalle bei gleichzeitiger Einwirkung von Druck und Hitze. In der H. erfolgt die Verbindung z. B. mit Hilfe einer den Druck

ausübenden keilförmigen Edelmetallschneide oder mit Hilfe des „Nagelkopf-Bondens", bei dem der mit einem geschmolzenen Kügelchen versehene Anschlußdraht unter gleichzeitiger Einwirkung von Druck und Wärme unlösbar mit der Kontaktfläche verbunden wird.
Dem Schutz der Halbleiterbauelemente und Schaltkreise dienen Metall-, Glas- oder Plastgehäuse bzw. Kappen, die luft- und feuchtigkeitsdicht sowie – bei größeren Leistungen – so ausgebildet sind, daß eine gute Wärmeabfuhr gewährleistet ist. Vgl. Halbleiterblocktechnik, integrierte Schaltung, Schaltkreis.

Halbwellendipol ↑ Antenne.

Hall-Effekt: vom amerikanischen Physiker *Edwin Herbert Hall* entdeckte Erscheinung, daß in einem stromdurchflossenen, senkrecht zu den Feldlinien eines Magnetfelds verlaufenden Leiter quer zur Stromrichtung eine elektrische Spannung, die *Hall-Spannung*, auftritt. Sie entsteht dadurch, daß bewegte Ladungsträger unter dem Einfluß des Magnetfelds zur Seite gedrängt werden. Ihre Größe hängt von der magnetischen Feldstärke, vom Strom durch den Leiter, von der Leiterdicke in Kraftlinienrichtung und von einer Materialkonstanten, der sog. *Hall-Konstanten*, ab. Die Hall-Spannung liegt bei Metallen größenordnungsmäßig bei 1 mV und erreicht bei einigen Halbleitern (z. B. Indiumarsenid) Werte um 1 V.



Hall-Generator

Der H. wird in *Hall-Generatoren* angewendet, Plättchen aus Halbleitermaterial (Fläche z. B. 1 cm × 0,5 cm), die mit entspr. Kontakten und einer Schutzhülle versehen sind. Sie werden als Sonden zu Messungen in Magnetfeldern und starker Ströme benutzt. Da die Hall-Spannung dem Produkt aus magnetischer Feldstärke und Strom in weitem Bereich proportional ist, kann man mit ihrer Hilfe elektrisch multiplizieren und elektrische Leistungsmesser aufbauen. Auch für Modulations- und Demodulationszwecke lassen sich Hall-Generatoren verwenden. Vgl. Feldplatte.

Handfunksprechgerät: tragbares Kleingerät zur funktelefonischen Verständigung über Entfernungen von max. wenigen Kilometern. H. enthalten einen Sender und einen Empfänger; beide sind mit integrierten Schaltungen und diskreten Halbleiterbauelementen bestückt. Meist sind sie paarweise auf eine feste Frequenz im Kurzwellen- (Wellenlänge bei 11 m), m- oder dm-Wellen-Bereich eingestellt. Die Sendeleistung ist ge-

ring (meist < 100 mW). Für Senden und Empfangen wird eine gemeinsame Periskopantenne benutzt, bei deren Ausziehen häufig das Gerät selbsttätig eingeschaltet wird. Die Stromversorgung übernehmen Batterien oder am Stromversorgungsnetz nachladbare Akkumulatoren. Abmessungen und Masse der H. sind möglichst niedrig (z. B. Format einer Kleinbildkamera oder einer Zigarettenpackung), die Bedienung ist weitestgehend vereinfacht. Anschluß einer zusätzlichen Antenne (zur Reichweitenvergrößerung) und eines Kopfhörers (Umweltlärm!) ist oft möglich. H. werden im Verkehrswesen, auf Baustellen, für Verladearbeiten, im Vermessungswesen u. a. eingesetzt.

Hardware [engl. „harte Ware"]: Gesamtheit der technischen Bestandteile (elektronisch, magnetisch, elektrisch, optisch, mechanisch arbeitend) einer EDVA einschl. der Peripheriegeräte. Vgl. Software.

Hautwirkung ↑ Skin-Effekt.

Heißleiter ↑ Thermistor.

Heizung ↑ Katode.

Hellfax-Verfahren ↑ Bildfunk.

Helligkeitsregelung ↑ Fernsehempfänger.

Hell-Schreiber ↑ Funkfernschreiben.

Heptode ↑ Elektronenröhre.

Herzschrittmacher, *Pacemaker, Stimulator*: Gerät für die Nachbildung von elektrischen Reizimpulsen zur Anregung von Herzkontraktionen bei teilweisem oder völligem Ausfall des Reizbildungs- oder Reizleitungssystems. Dies geschieht, indem man über eingepflanzte Elektroden der Herzkammermuskulatur Impulse von mehreren Millisekunden Dauer in einer der Pulsfrequenz angepaßten Folgefrequenz zuführt; diese Impulse lösen Kontraktionen aus. Impulsgeber ist z. B. ein ↑ Multivibrator mit nachgeschalteter Impulsformer- und Verstärkerstufe. H. werden in miniaturisierter Ausführung gefertigt, so daß sie der Patient bei sich tragen kann. Während bei älteren Ausführungen lediglich die Elektroden in den Körper eingebracht wurden und durch Drähte mit dem außerhalb befindlichen Impulsgeber verbunden waren, setzt man heute den ganzen, in Epoxidharz eingegossenen H. in den Körper ein und wechselt ihn nach 1 bis 2 Jahren (nach Batterieerschöpfung) durch einen kleinen operativen Eingriff aus („implantierbarer H."). Versuche, diesen Wechsel überflüssig zu machen, verliefen erfolgreich. Man überträgt z. B. die Impulsenergie drahtlos von einem auf der Haut getragenen, winzigen Sender zu einem in unmittelbarer Herznähe eingepflanzten Empfänger, wobei die nötige Energie über den piezoelektrischen Effekt aus den Atembewegungen bzw. vereinzelt auch schon aus langlebigen Radionuklidbatterien gewonnen wird (Energieversorgung für > 10 Jahre). Die Impulsfolgefrequenz des H. kann von Hand eingestellt werden oder paßt sich über eine Regelschaltung selbsttätig der jeweiligen Belastung des Herzens an.

Hexode ↑ Elektronenröhre.

HF-Litze ↑ Skin-Effekt.

HF-Vormagnetisierung ↑ Magnetbandgerät.

HiFi [Abk. für engl. *Hi*gh *Fi*delity]: etwa „hohe Originaltreue" (einer elektroakustischen Übertragung). Eine Übertragung hat HiFi-Qualität, wenn sie alle im urspr. Schallereignis enthaltenen Frequenzen ohne merkliche Schwächung oder Anhebung bestimmter Frequenzbereiche, mit geringsten nichtlinearen Verzerrungen und einer dem Original nahen ↑ Dynamik wiedergibt. Die in verschiedenen Staaten (unterschiedlichen) Standards für HiFi beziehen sich auf Parameter wie Ausgangsleistung und Klirrfaktor, Frequenzbereich der Gesamtanlage wie ihrer Bestandteile (z. B. Mikrofone, Magnetbandgeräte, Lautsprecher, Verstärker) und u. a. auch auf mechanische (z. B. Stecker und Kupplungen) und elektrische (z. B. Eingangs- und Ausgangswiderstände) Anschlußwerte.

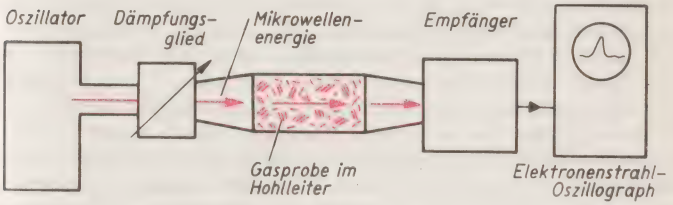
Hi-Fix-Anlage ↑ Decca-Verfahren.

Hochfrequenzerwärmung: Erwärmung leitender oder nichtleitender Stoffe durch Energieumsetzung in einem räumlich konzentrierten hochfrequenten Wechselfeld, das durch einen ↑ Industrie-Hochfrequenzgenerator erzeugt und aufrechterhalten wird. Die Wärme wird nicht von außen zugeführt, sondern entsteht in den zu erwärmenden Stoffen selbst. Gut leitende Materialien, vor allem Metalle, werden durch *induktive Erwärmung* behandelt, d. h. in das Innere einer oft flüssigkeitsgekühlten *Arbeitsspule* gebracht, die vom HF-Strom des Generators durchflossen wird. Das magnetische Wechselfeld ruft im Werkstück kräftige Wirbelströme hervor, die das Material erhitzen. Durch entspr. Formgebung der Arbeitsspule ist eine partielle Erwärmung des Stoffs möglich. Aufgrund des ↑ Skin-Effekts konzentrieren sich Wirbelströme und Wärmeentwicklung vor allem in den oberflächennahen Schichten. Die Eindringtiefe sinkt mit steigender Frequenz und hängt außerdem vom spezifischen Widerstand und (bei Ferromagnetika) von der Permeabilität des Stoffs ab. Durch induktive Erwärmung kann Werkstoff oder können Werkstücke geglüht, geschmolzen, gelötet, geschweißt oder von eingeschlossenen Gasresten befreit werden; bes. Bedeutung hat die *Oberflächenhärtung* (Ausnutzung des Skin-Effekts) von Werkzeugen und Maschinenteilen.

Nicht oder sehr schlecht leitende Stoffe, die meist gleichzeitig schlechte Wärmeleiter sind, werden durch *dielektrische Erwärmung* behandelt, d. h., der Industrie-HF-Generator speist einen *Arbeitskondensator*, in dessen Plattenzwischenraum das zu erwärmende Material als Dielektrikum gebracht wird. Ursache der Wärmeentwicklung sind dielektrische Verluste. Der Stoff wird daher gleichmäßig durchwärmt; die in der Zeiteinheit entwickelte Wärmemenge hängt von der Dielektrizitätskonstanten sowie vom Verlustfaktor des Materials ab und steigt mit der Frequenz und dem Quadrat der elektrischen Feldstärke. Deshalb werden hohe Frequenzen, z. B. die für solche Zwecke freigehaltene Frequenz von 27,12 MHz, bevorzugt. Werden Mikrowellen-Generatoren für die dielektrische Erwärmung benutzt (Frequenz z. B. 2,4 GHz), so ergeben sich bes. wirkungsvolle Erwärmungsmöglichkeiten. Die Stelle des Arbeitskondensators nimmt hier ein Arbeitsraum ein, im Prinzip ein ↑ Hohlraum-

resonator, in dem das zu erwärmende Gut unmittelbar dem Strahlungsfeld des Generators ausgesetzt ist. Durch dielektrische Erwärmung können Holz, Papier, Keramik, Gußkerne u. a. getrocknet, thermohärtbare Massen gepreßt, thermoplastische verschweißt, Nahrungsmittel sterilisiert, Holzteile unter Druck und Wärme verleimt werden (Sperrholz). Vorzüge der H. sind: örtlich und bzw. oder zeitlich regelbare Wärmeentwicklung, Produkte gleichbleibender Qualität und ohne Verschmutzung durch Verbrennungsrückstände (Erwärmung im Vakuum möglich), einfache Bedienung und nahezu wartungsfreies Arbeiten der Anlagen, oftmals die Möglichkeit einer Bearbeitung im Durchlaufverfahren und damit der Eingliederung in automatisierte Produktionsanlagen. Vgl. Kurzwellentherapie, Mikrowellenherd.

Hochfrequenzspektroskopie: Erforschung der im von der HF-Technik genutzten Teil des elektromagnetischen Spektrums liegenden Spektrallinien von Atomen und Molekülen mit Mitteln und Methoden der HF-Technik, wobei bes. Untersuchungen im Mikrowellenbereich (*Mikrowellenspektroskopie*) wichtig sind. Verbreitetes Hilfsmittel der H. ist das nach dem Prinzip der Absorptionsspektroskopie arbeitende *Mikrowellenspektrometer*. Die zu untersuchende, gasförmige Substanzprobe wird in einen Hohlleiter eingeschlossen, dessen einem Ende über ein einstellbares Dämpfungsglied von einem durchstimmbaren Oszillator (i. allg. ein Reflexklystron) Mikrowellenenergie zugeführt wird, die die Gasprobe durchdringt und auf eine Empfangseinrichtung fällt, der ein Elektronenstrahloszillograph nachgeschaltet ist. Das Reflexklystron schickt nacheinander alle Frequenzen seines Abstimmbereichs durch die Gasprobe, wobei die Energie der vom Gas absorbierten Frequenzen am meisten geschwächt wird. Durch synchrone Steuerung von Oszillator und Oszillograph werden auf dessen Bildschirm Abstand und Intensität der einzelnen Spektrallinien unmittelbar aufgezeichnet. Dieses u. ä. Verfahren liefern Angaben über die Feinstruktur der Spektrallinien, über magnetische Kernmomente, Rotations- und Inversionsspektren; sie werden außerdem für analytische Untersuchungen genutzt. Dabei wird eine Genauigkeit erzielt, die mit optischen Methoden nicht zu erreichen ist. Untersuchungen mittels H. an Flüssigkeiten und Einkristallen liefern



Hochfrequenzspektroskopie: Prinzip des Mikrowellenspektrometers

Angaben über chemische Bindungen, Molekül- und Kristallaufbau sowie über dielektrische Eigenschaften.

Höchstfrequenzbereich ↑ Frequenzbereiche.

Höhenanhebung ↑ Klangregelung.

Hohlleiter: ↑ Wellenleiter für den mm- und cm-Wellenbereich, der durch ein meist starres, mitunter auch flexibles Rohr aus Leitermaterial mit möglichst glatter Innenwand nach außen vollständig begrenzt ist und dessen meist rechteckiger, elliptischer oder kreisförmiger Querschnitt (Abmessungen in der Größenordnung der Wellenlänge) über die gesamte Rohrlänge, auch bei notwendigen Krümmungen, konstant ist. Eine elektromagnetische Welle, deren Länge eine u. a. von den Abmessungen des H. bestimmte Grenzwellenlänge unterschreitet, breitet sich in Längsrichtung des H. ähnlich wie im freien Raum aus. Dabei können 2 Grund-Schwingungstypen mit Varianten entstehen: Bei *E-Wellen* verlaufen die elektrischen Feldkomponenten in Längsrichtung des H., die *m*agnetischen Feldkomponenten senkrecht dazu, d. h. *t*ransversal zum H. (daher auch die Bez. *TM-Wellen*). *H-Wellen* haben die magnetischen Feldlinien in Längsrichtung des H. und die elektrischen *t*ransversal (*TE-Wellen*).

Die Ausbreitungsverluste im H. sind sehr gering, da Strahlungsverluste nach außen sowie Verluste durch einen Innenleiter und Isoliermaterial (z. B. wie beim ↑ Koaxialkabel) entfallen. H. werden gegenwärtig nur zur Übertragung elektromagnetischer Energie über relativ kurze Strecken (z. B. Energiezuführung zu einer Radarantenne) verwendet. Ihr Einsatz für Nachrichtensysteme sehr großer Bandbreite (gleichzeitige Übertragung z. B. mehrerer 10^5 Ferngespräche oder Tausender Fernsehkanäle) auf Wellenlängen < 1 cm ist Gegenstand der Forschung und Erprobung.

Hohlraumresonator: ↑ Schwingungskreis sehr hoher Güte insbes. für den cm-Wellenbereich. Der H. ist ein mit leitenden Flächen abgeschlossenes Stück eines ↑ Hohlleiters, dessen Abmessungen so gewählt sind, daß sich bei Zuführung von HF-Energie im Innenraum stehende elektromagnetische Wellen bestimmter Länge ausbilden. Die auftretenden Verluste sind – sehr gut leitende Innenwände vorausgesetzt – äußerst gering. Eine Energieabstrahlung nach außen findet nicht statt. Die Zuführung bzw. Entnahme von HF-Energie geschieht ähnlich wie bei ↑ Topfkreisen. Die Abstimmung eines H. ist innerhalb gewisser Grenzen z. B. durch Verschieben einer Stirnwand möglich. H. werden im Höchstfrequenzbereich, z. B. zum Aufbau von Filtern und als Bestandteile von ↑ Laufzeitröhren, angewendet.

Hörhilfe: kleines elektroakustisches Gerät für Gehörgeschädigte, bestehend aus Mikrofon, Tonfrequenzverstärker und Hörer zur Wiedergabe der verstärkten Schallschwingungen. Der als integrierte Schaltung oder mit diskreten Halbleiterbauelementen ausgeführte Verstärker wird aus einer Batterie oder einem Miniatur-Akkumulator gespeist und enthält Regeleinrichtungen zum Ausgleich des wechselnden Abstandes Mikrofon–Schallquelle. Der Frequenzgang der H. wird dem individuellen

Empfinden des Trägers angepaßt (z. B. Bevorzugung bestimmter Tonfrequenzbereiche). Der Hörer wird mit seinem Ansatzstück in den Gehörgang des Ohres eingeführt und ist mit dem Verstärker über ein Kabel verbunden.
Die Mikroelektronik ermöglicht es, H. als kaum sichtbare „Hinter-Ohr-Geräte" auszuführen, in Brillenbügel einzubauen oder im Gehörgang unterzubringen. Experimente, bei denen die Schallereignisse in elektrische Signale umgesetzt und unter Umgehung des Ohrs unmittelbar dem Gehirn zur Auswertung zugeführt werden, sind Gegenstand der Forschung und Erprobung.
Horizontal-Endstufe ↑ Ablenkstufe.
Horizontal-Synchronisierimpuls ↑ Fernsehen.
Hornstrahler ↑ Antenne.
HV-Lot ↑ Ultraschallortung.
Hybridrechenautomat: teilweise digital, teilweise analog arbeitende automatische Rechenanlage, bestehend entweder aus je einem miteinander durch geeignete Umsetzer gekoppelten Digital- und Analogierechenautomaten oder aus einem Rechenautomaten mit Zusatzgeräten in der Art von ↑ Analog-Digital- oder Digital-Analog-Umsetzern. H.en haben die Vorteile digitaler und analoger Rechenautomaten, z. B. großes Speichervermögen und hohe Genauigkeit einerseits, die Möglichkeit der raschen und breiten Veränderung der den Rechengang beeinflussenden Parameter andererseits.
Hybridtechnik: Herstellungsverfahren für elektronische Schaltungen aus diskreten Bauelementen und aus Bausteinen oder -gruppen, die nach Verfahren der Mikroelektronik hergestellt werden. Mit Hilfe der H. kann man Schaltungen nach Kundenwunsch auch bei kleinen Stückzahlen mit guter Wirtschaftlichkeit herstellen. Neben verkappten Halbleiterdioden und Transistoren werden ↑ Chips zu Schaltungen der ↑ Dick- oder ↑ Dünnschichttechnik zugesetzt. Ein anderes Verfahren geht von in ↑ Halbleiterblocktechnik hergestellten aktiven Bauelementen aus; auf der durch Siliziumdioxid isolierten Oberfläche einkristallinen Materials wird die Schaltung in Dünnschichttechnik erzeugt. Bei Multichip-↑ Schaltkreisen werden unverkappte Bauelemente, die sich auf kleinen Plättchen befinden, auf einem gemeinsamen Träger befestigt und durch Drahtverbindungen miteinander verknüpft. Die fertige Anordnung wird z. B. in ein Transistorgehäuse eingebaut.
hydroakustische Station ↑ Ultraschallortung.
Hyperbelnavigation ↑ Funkortung.

I

IC ↑ integrierte Schaltung.
IEC [Abk. für engl. *I*nternational *E*lectrotechnical *C*ommission]: Internationale Vereinigung der Elektrotechniker zur Vereinheitlichung und Angleichung von Normen, Standards, Sicherheitsvorschriften usw. auf dem Gebiet der Elektrotechnik/Elektronik. Die von der I. herausgegebenen Empfehlungen bilden häufig die Grundlage nationaler Standards.
IGFET ↑ Transistor 2.
Ignitron *n*: Gasentladungsröhre mit Quecksilberkatode, Anode und einem in die Katode tauchenden Zündstift (Zündelektrode). Die Funktion des I. ähnelt der des Quecksilberdampfgleichrichters, jedoch ist der gleichgerichtete Strom durch zeitliches Verschieben der bei jeder positiven Halbwelle nötigen Zündspannung steuerbar. Eine Steuerspannung zwischen dem positiven Zündstift und der Katode zündet zwischen der vom Quecksilber nicht benetzbaren Zündstiftoberfläche und der Katode eine Bogenentladung, die auf die Strecke Anode-Katode übergreift. Wird gegen Ende der positiven Halbwelle die Brennspannung der Anoden-Katoden-Strecke (etwa 16 V) unterschritten, so erlischt die Entladung. Dieser Vorgang wiederholt sich bei jeder positiven Halbwelle. Das zeitliche Verschieben des Zündeinsatzes wird wie bei Thyratron und Thyristor durch eine gegenüber der Anodenspannung phasenverschobene Wechselspannung oder durch Zündimpulse zwischen Zündstift und Katode eingestellt.
I. für hohe Leistung haben einen doppelwandigen Metallkolben, dessen Zwischenraum von Kühlwasser durchströmt wird. Katode und Kolben sind leitend verbunden, die Anschlüsse für Anode und Zündstift isoliert herausgeführt. Das I. eignet sich bes. für die steuerbare Gleichrichtung starker Ströme (Effektivwerte von mehreren 100 A, Spitzenwerte von mehreren 10^3 A). Es ist ständig betriebsbereit, langlebig, relativ unempfindlich gegen kurzzeitige Überlastung und findet u. a. Anwendung in Widerstandsschweißanlagen sowie in Gleichrichtern für steuerbare Elektroantriebe hoher Leistung, z. B. von Förderanlagen, Walzwerken. Das *Senditron*, mit seinem H-förmigen Glaskolben, wird für ähnliche Zwecke wie das I. angewendet. Seine Wirkungsweise beruht auf der des I., es wird jedoch durch eine kapazitiv wirkende, gegenüber der Katoden-Anoden-Strecke isolierte, durch Feldemission wirkende Zündelektrode gesteuert. Es blieb ohne große technische Bedeutung.
Ikonoskop ↑ Bildaufnahmeröhre.
ILS: Abk. für ↑ Instrumentenlandesystem.
Image-Orthikon ↑ Bildaufnahmeröhre.
Impedanzwandler ↑ Verstärker 1.2.
Impuls: kurzzeitiges, stoßartiges Auftreten einer elektrischen Größe (z. B. Spannung, Strom). Nach der sich aus dem zeitlichen Ablauf ergebenden Form unterscheidet man *Rechteck-, Dreieck-, Glocken-, Nadel-I.*

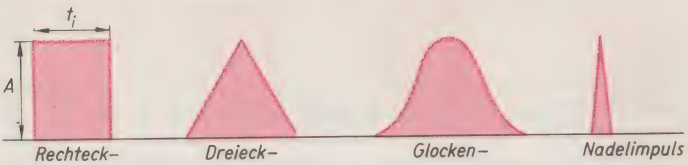


Abb. 1: Verschiedene Impulsformen

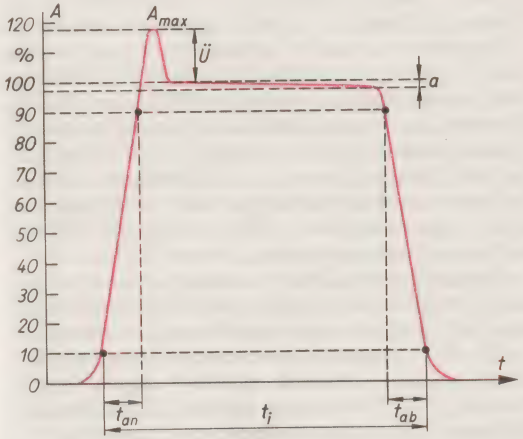


Abb. 2: Kennwerte eines Rechteckimpulses

u. a. (Abb. *1*). Bes. Bedeutung für die EDV, für Fernseh- und Radartechnik, die Übertragung mit Verfahren der Pulsmodulation (↑ Modulation) sowie die digitale Signalübertragung in der BMSR-Technik haben Rechteck-I. Ihre wichtigsten Kenngrößen sind *I.amplitude* (*I.höhe*) A und *I.dauer* (*I.breite*, *I.länge*) t_i. Da auch Rechteck-I. nie genaue Rechteckform haben, machen sich Präzisierungen und weitere Bez. nötig (Abb. *2*). So wird t_i häufig nicht auf den exakt schwer feststellbaren Wert $A = 0$, sondern auf den leichter meßbaren Wert von 10 % der Amplitude bezogen. Ähnlich verfährt man für die *Anstiegszeit* t_{an} und die *Abfallzeit* t_{ab}, in denen sich die Steilheit der I.vorderflanke bzw. -hinterflanke ausdrückt. a ist der *Dachabfall* (*Dachschräge*), $\ddot{U} = (A_{max} - A)$ eine evtl. Störspitze. Für andere I.formen gelten ähnliche, nicht immer einheitlich gehandhabte Festlegungen. Häufig folgen I. einander periodisch als sog. ↑ Puls. Dann ist T die *I.periode* (*Periodendauer*), $f = 1/T$ die *I.folgefrequenz* (*Pulsfrequenz*), $(T–t_i)$ die I.pause, t_i/T das *Tastverhältnis* (Abb. *3*).

I. werden mit *I.generatoren* erzeugt. Für I.folgefrequenzen bis zu mehreren 100 Hz können elektromechanische oder -magnetische Anordnungen

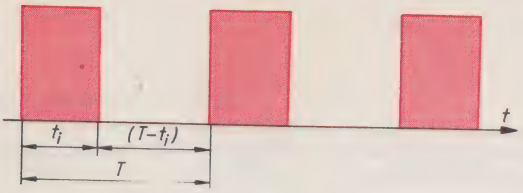


Abb. 3: Kenngrößen einer Impulsfolge (Puls)

benutzt werden. Zu ihnen zählen z. B. auf einer Motorwelle umlaufende Kontakte oder Nocken, die einen Schalter periodisch betätigen, Selbstunterbrecher nach dem Prinzip der elektrischen Klingel, für große Leistung bisweilen rotierende, einem Rad mit verlängerten Speichen ähnliche Funkenstrecken. Solche I.generatoren heißen auch *I.geber*. Weitaus größere Bedeutung haben elektronische I.generatoren, die für I.folgefrequenzen über einige 100 Hz ausschl. benutzt werden. Zu ihnen zählen vor allem ↑ Sägezahngeneratoren, ↑ Sperrschwinger und ↑ Multivibratoren. Oft ist bei ihnen eine sinusförmig verlaufende, in einem ↑ Oszillator erzeugte Spannung Ausgang der I.gewinnung.

Erzeugte oder empfangene I. haben häufig nicht die notwendige Form, sondern weisen z. B. erhebliche Dachschräge, Störspitzen, „verschliffene Kanten", zu geringe Steilheit oder starke Flankenkrümmung auf. In diesen Fällen werden die I. über einen *I.former* geleitet, eine Schaltung, mit deren Hilfe I. vorgegebene Form und Kenngrößen aus primären I.en erhalten, z. B. im Laufe einer Übertragung verformte I. „regeneriert" oder I. aus sinusförmigen Wechselspannungen bzw. -strömen gebildet werden. Als I.former werden ↑ Differenzierglieder, ↑ Integrierglieder, ↑ Begrenzer, Schmitt-Trigger (↑ Trigger), ↑ Multivibratoren, ↑ Verzögerungsleitungen u. a. verwendet, häufig kombiniert und gleichzeitig.

In Abb. *4* folgt z. B. dem Oszillator für sinusförmige Spannung ein Begrenzer, der durch Abschneiden der Amplitudenspitzen eine mäanderförmige Spannung abgibt und diese einem Differenzierglied zuleitet. Von den beim Differenzieren entstehenden positiv und negativ gerichteten, spitzen I.en werden die positiven in einem weiteren Begrenzer unterdrückt, die negativen nochmals verstärkt und in der Phase um 180° gedreht.

Durch Schaltungen zur *I.trennung* können I. nach Amplitude, Breite, Phasenlage, Polarität und I.folgefrequenz unterschieden und aus einem I.gemisch bzw. aus einem Gemisch von I.en u. a. Signalen abgetrennt werden. Die Trennung nach der Amplitude (etwa Trennung von Bildsignal und Synchronisier-I.en im Fernsehempfänger, vgl. Amplitudensieb) geschieht z. B. durch Begrenzer. Diese können so geschaltet werden, daß nur I. innerhalb eines vorgegebenen Amplitudenintervalls passieren können. Auch ↑ Trigger mit entspr. eingestellter Ansprechschwelle sind gebräuchlich. Eine Trennung nach der I.breite kann erfolgen, indem man die I. mit Hilfe eines Integrierglieds in eine sägezahnähnliche Spannung

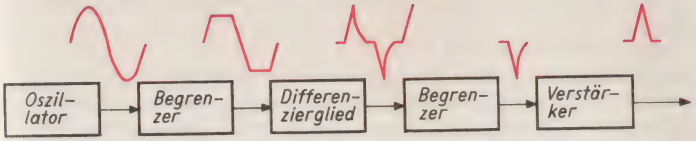


Abb. 4: Umformung einer sinusförmigen Wechselspannung in Nadelimpulse

verwandelt, deren Amplitude ein Maß für die I.breite ist (z. B. Trennung von Horizontal- und Vertikalsynchronisier-I.en in Fernsehempfängern). Zur Trennung nach der Polarität werden z. B. Begrenzerstufen angewendet.

Impulsabtrennstufe ↑ Amplitudensieb.

Impulsbetrieb: Arbeitsweise von Oszillatoren und Sendern, z. B. in Radaranlagen oder Übertragungssystemen mit Pulsmodulation (↑ Modulation), die im Takt einer Impulsfolge intermittierend strahlen. Da die Impulsbreite meist kurz gegenüber der Impulsperiode ist (vgl. Impuls), können Senderöhren im I. bis nahe 1 000fach höhere Leistung abgeben als im Dauerbetrieb, während die von den Stromversorgungsgeräten aufzubringende mittlere Leistung nur gering steigt.

Impulsformer, -geber und **-trennung** ↑ Impuls.

Impulszähler: ↑ Zählschaltung, die aufeinanderfolgende Impulse fortlaufend oder während einer wählbaren Zeitspanne abzählt, das Ergebnis anzeigt, registriert oder zur Steuerung nachgeschalteter Geräte nutzt.

Impulszentrale: Baustufe oder -stein, der für ein elektronisches Gerät Impulse erzeugt, die entweder in der I. selbst oder in den mit ihr verbundenen Baustufen in der Frequenz, Form und Amplitude umgewandelt werden (↑ Radar, vgl. Taktgeber).

Induktionsschleife: Hilfsmittel zur drahtlosen Übertragung von NF-Signalen über geringe Entfernung. Die Signale, z. B. Sprache, werden verstärkt und einer weitläufig, z. B. an den Wänden eines Raums, verlegten geschlossenen Drahtschleife zugeleitet. Im Bereich der Schleife entsteht ein niederfrequentes magnetisches Wechselfeld. Bringt man eine kleine Empfangsspule, meistens mit einem ferromagnetischen Kern versehen, in dieses Feld, so werden in ihr NF-Spannungen induziert, die verstärkt und z. B. einem Kopfhörer zugeleitet werden können. Die Spule kann von Personen getragen werden, die an eine ↑ Personenrufanlage angeschlossen sind, sowie an Maschinen oder in Fahrzeugen zum Empfang von Fernsteuerungssignalen angebracht sein. Wird an einem Fernseh- oder Rundfunkempfänger eine I. angeschlossen, so ermöglicht sie dem Benutzer einer Hörhilfe mit einer Empfangsspule, den Sendungen auch bei normaler Empfangslautstärke mühelos zu folgen.

induktive Erwärmung ↑ Hochfrequenzerwärmung.

Induktivität, *Selbstinduktionskoeffizient*: physikalische Größe zur quantitativen Erfassung der in einem Leiter, bevorzugt einer Spule, auftretenden Selbstinduktionswirkung. Ändert sich der durch eine Spule fließende

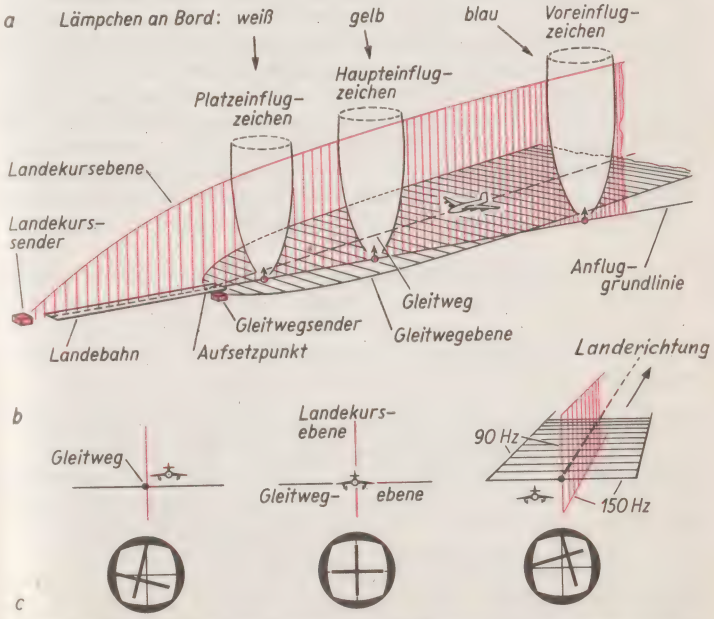
Strom, so wird durch die damit verbundenen Magnetfeldänderungen in dieser eine Gegenspannung $E_{ind} = -L(\Delta I/\Delta t)$ induziert. $\Delta I/\Delta t$ ist die zeitliche Stromänderung, L der vom Aufbau der Spule abhängige, konstante Proportionalitätsfaktor. Die I. wird in Henry (H), nach dem nordamerikanischen Physiker *Joseph Henry*, gemessen. Es gilt 1 H = 1 Vs/A; bevorzugte Untereinheiten sind 1 mH = 10^{-3} H, 1 μH = 10^{-6} H. L hängt bei Spulen vom Quadrat der Windungszahl, vom Verhältnis Spulendurchmesser/Spulenlänge, von der Permeabilität μ eines evtl. vorhandenen Spulenkerns u. a. ab. Eine exakte Berechnung der I. ist für Spulen u. a. Leiteranordnungen schwierig; L wird daher in den meisten Fällen einfacher aus Messungen ermittelt (z. B. mit einer ↑ Brückenschaltung).
Ist eine Leiteranordnung mit Selbstinduktion Teil eines Wechselstromkreises, so bewirkt die ständig induzierte Gegenspannung eine Verminderung der Stromstärke; es tritt ein *induktiver Widerstand* $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$ auf, worin f die Frequenz des Wechselstroms bedeutet. Als Maßeinheit ergibt sich, da f in s^{-1} und L in $Vs \cdot A^{-1}$ gemessen werden, $s^{-1} \cdot Vs \cdot A^{-1} = V/A = \Omega$. In einem verlustfrei gedachten induktiven Widerstand eilt die Spannung dem Strom um 90° voraus, es wird keine elektrische Leistung in Wärme umgesetzt. Zur Berechnung der Induktionswirkungen einer Leiteranordnung auf eine andere (z. B. ↑ Transformator) verwendet man eine der I. analoge Konstante, die *Gegen-I.* Sie hängt auch von Aufbau, Abmessungen und Anordnung der Leitergebilde ab und wird ebenfalls in Henry gemessen. I. nennt man häufig auch das Bauelement selbst, dessen induktiver Widerstand genutzt wird.

Industrie-Hochfrequenzgenerator: Generator zur Erzeugung von HF-Wärme. Er ist vorwiegend mit Senderöhren bestückt und hat eine Grundschaltung wie ein normaler, einfacher Funksender. Die Leistung liegt, je nach der speziellen Aufgabe des I., zwischen wenigen Watt und vielen Kilowatt. Damit I.en keine Funkdienste stören, werden sie sorgfältig abgeschirmt (vgl. Abschirmung); außerdem sind ihnen bestimmte „Industriefrequenzen" im Hoch- und Höchstfrequenzbereich vorgeschrieben, die von Funkdiensten freigehalten werden.

Innenwiderstand: 1. Widerstand R_i einer Spannungsquelle, der bei Stromfluß eine Differenz zwischen ihrer Urspannung E und der Spannung an ihren Anschlußklemmen, der Klemmenspannung U, verursacht: $U = E -$ Spannungsabfall an R_i. Hieraus und aus der Stromstärke $I = E/(R_i + R_a)$ (R_a Widerstand im äußeren Stromkreis, Außenwiderstand) folgt $U = E[R_a/(R_i + R_a)]$. R_i läßt sich nach dem Ohmschen Gesetz aus dem Kurzschlußstrom (Strom bei $R_a = 0$) und der Urspannung berechnen. Die größte Leistungsübertragung an den Außenwiderstand R_a erfolgt bei $R_i = R_a$ (vgl. Anpassung). – **2.** Wechselstromwiderstand R_i der Katoden-Anoden-Strecke einer ↑ Elektronenröhre.

Instrumentenlandesystem, Abk. *ILS*: Komplex funktechnischer Anlagen und Geräte, mit deren Hilfe Flugzeuge bei schlechten Sichtbedingungen an die Landebahn, im Idealfall zum Aufsetzpunkt geführt werden. Das I. informiert den Piloten während des Endanflugs ständig über Kurs und

Höhe und gibt zusätzlich Entfernungsmarken. Der Kurs ist durch eine senkrechte Landekursebene festgelegt, die mit Hilfe eines im Frequenzband zwischen 108 und 112 MHz arbeitenden *Landekurssenders* gewonnen wird. Seine aus Dipolgruppen zusammengesetzte Antennenanlage ist hinter der Landebahn aufgestellt, die HF-Strahlung mit 90 und 150 Hz moduliert. Durch bes. Schaltanordnungen wird erreicht, daß die Modulationsgrade für beide Tonfrequenzen nur in der Landekursebene gleich sind, während bei einer seitlichen Abweichung von dieser Ebene entweder die 90-Hz- oder die 150-Hz-Modulation stärker hervortritt. Die Höheninformation geschieht mit Hilfe eines *Gleitwegsenders*, der neben der Landebahn steht und im Frequenzband zwischen 328 und 335 MHz arbeitet. Er erzeugt eine zum Aufsetzpunkt leicht abfallende Ebene (Neigung etwa 2,5°). Oberhalb der Ebene tritt ebenfalls eine 90-Hz-, unterhalb der Ebene eine 150-Hz-Modulation stärker hervor. Landekurs- und Gleitebene schneiden sich im *Gleitweg*. Folgt ihm das Flugzeug, so wird es sicher bis in Nähe des *Aufsetzpunkts* geführt; die letzte Phase der Landung vollzieht sich nach Sicht. An Bord steuern ein *Landekurs-* und ein

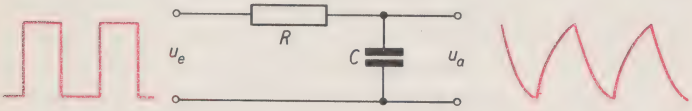


Instrumentenlandesystem: a Gesamtdarstellung, c Kreuzzeigerinstrumente-Anzeigen von 3 verschiedenen Fluglagen (*b*) in bezug auf Landekurs- und Gleitwegebene beim Landeanflug; im mittleren Teilbild befindet sich das Flugzeug auf dem Gleitweg

Gleitwegempfänger ein sog. *Kreuzzeigerinstrument.* Abweichungen seiner beiden Zeiger aus der waagerechten bzw. senkrechten Nullage informieren den Piloten, welche Korrekturen zum Einhalten des Gleitwegs nötig sind.

Die Entfernungsmarken werden durch *Einflugzeichensender* gegeben, die senkrecht nach oben strahlen und 7 200 m (*Voreinflugzeichen*, Abk. *VEZ*), 1 000 m (*Haupteinflugzeichen*, Abk. *HEZ*) und 75 m (*Platzeinflugzeichen*, Abk. *PEZ*, entfällt häufig) vor der Landebahnschwelle stehen. Alle diese Sender arbeiten auf einer 75-MHz-Frequenz, unterscheiden sich aber durch deren Modulation mit Tonfrequenzen verschiedener Höhe und durch eine Tastkennung. Ein *Einflugzeichenempfänger* an Bord zeigt das Überfliegen der einzelnen Einflugzeichen durch farbige Lämpchen und auch akustisch an.

Integrierglied: Schaltungsglied aus einem Kondensator C und einem Widerstand R, dessen Ausgangsspannung u_a näherungsweise gleich dem Integral der Eingangsspannung u_e ist. Für die Ausgangsspannung gilt: $u_a = u_e = 1/C \cdot \int i \cdot dt$. Hat C eine solche Kapazität, daß sein kapazitiver Widerstand gegenüber demjenigen von R vernachlässigt werden kann, so ist $i \approx u_e/R$ und damit $u_a = 1/C \cdot \int i \cdot dt \approx 1/(R \cdot C) \cdot \int u_e \cdot dt$, d. h., u_a nähert sich dem zeitlichen Integral der Eingangsspannung u_e. Die Näherung ist dabei umso besser, je kleiner der kapazitive Widerstand von C gegenüber dem Widerstand R ist. Für eine rechteckförmige Eingangsspannung ergibt sich eine Ausgangsspannung der in der Abb. gezeigten Form. I.er werden angewendet, um aus Rechteckimpulsen dreieck- oder sägezahnförmige Spannungen oder Ströme zu gewinnen, z. B. für die zeitlineare Ablenkung eines Elektronenstrahls oder zur Trennung von Impulsen unterschiedlicher Breite (↑ Impuls, vgl. Differenzierglied).



Integrierglied

integrierte Schaltung [Abk. *IS* oder *IC* von engl. *I*ntegrated *C*ircuit, integrierter Schaltkreis]: funktionsfähiger Baustein (bzw. -gruppe) zur Verarbeitung digitaler oder analoger Signale, dessen (deren) Bauelemente mit den sie verbindenden Leitungszügen in einer der jeweiligen Schaltungskonzeption entspr. Folge von Arbeitsschritten gemeinsam gefertigt werden und nicht austausch- oder reparierbar sind. *IS* werden nach den technologischen Verfahren der ↑ Mikroelektronik (vgl. Schaltkreis) produziert und durch Metall-, Plast- oder Keramikgehäuse hermetisch abgeschlossen. Abmessungen von Gehäuse und Lage der Anschlüsse sind i. allg. dem Rastermaß ↑ gedruckter Schaltungen angepaßt, wie z. B. das verbreitete *Dual-in-line-Gehäuse* [*DIL*, engl. etwa zweifache Reihe] mit 2 zur Gehäusefläche rechtwinklig abgebogenen Parallelreihen von An-

schlüssen, oder das *Single-in-line-Gehäuse* [*SIL*, engl. etwa einfache Reihe] mit einseitig herausgeführten Anschlüssen.
Flat packs [engl. „flache Packungen"] sind Flachgehäuse (Dicke z. B. 1,65 mm) mit seitlich herausgeführten, in 2 gegenüberliegenden Reihen angeordneten Anschlüssen im 1,25-mm-Raster.
Intercarrierverfahren ↑ Fernsehempfänger.
interdigitaler Wandler ↑ Akustoelektronik.
Interface [engl. etwa „Zwischenfläche", „Zwischen-Zifferblatt"], *Anschlußbild*: Gesamtheit der logischen, elektrischen und konstruktiven Bedingungen und Vorschriften, die die gegenseitige Anschlußfähigkeit und Kombination von elektronischen Geräten, die Signalübertragung zwischen ihnen und damit ihre Zusammenarbeit ermöglichen. Ein I. umfaßt u. a. die konstruktive Ausführung der elektrischen Verbindungselemente (z. B. Anschlußleisten, Steckverbinder, Kupplungen) und die Belegung ihrer Anschlüsse sowie Art, Form, Größenbereich und zeitliche Folge der auszutauschenden Signale. Bes. für EDVA setzen sich *Standard-I.* durch, um Anschluß-, Austausch-, Erweiterungs- und Kombinationsmöglichkeiten für mannigfache Peripheriegeräte zu schaffen.
International Electrotechnical Commission ↑ IEC.
Intervision: Organisation zur Durchführung gemeinschaftlicher und zum Austausch von Fernsehsendungen, der die UdSSR, die ČSSR, die VR Bulgarien, die VR Polen, die SR Rumänien, die Ungarische VR, die Mongolische VR, Finnland und die DDR angehören. Die SFR Jugoslawien, Österreich und Schweden sind ständige Benutzer der I. und nehmen als Beobachter an den Tagungen teil. Die Verbindung der einzelnen Sender, auch mit der ↑ Eurovision, geschieht durch Kabel und Richtfunkstrecken. Die Gründung der I. wurde am 30. 1. 1960 in Budapest beschlossen.
Intestinalsender, *Endoradiosonde*: Gerät der humanmedizinischen Elektronik zur drahtlosen Übermittlung physiologischer Daten, wie Druck, Temperatur, *p*H-Wert, aus dem Körperinnern. Der I. enthält einen Kleinstsender, der von meist auswechselbaren Meßfühlern gesteuert wird. Sender, Meßwertgeber und Spannungsquelle sind zu einer Einheit zusammengebaut, die vom Patienten verschluckt wird und den Verdauungstrakt passiert. Die übermittelten Daten werden von einem außerhalb aufgestellten Empfänger aufgenommen und in nachgeschalteten Registriereinrichtungen ausgewertet. Auch für Untersuchungen auf dem Gebiet der Veterinärmedizin werden I. eingesetzt.
Inversionsschicht ↑ Wellenausbreitung.
Inverter: 1. ↑ Analogierechenautomat. – **2.** ↑ Geheimhaltungssystem.
Ion: Atom, Atomgruppe oder Molekül mit nach außen in Erscheinung tretender elektrischer Ladung. Positive I.en (*Kationen*) entstehen durch Elektronenabgabe, negative (*Anionen*) durch Elektronenaufnahme. Zur I.enbildung, zur *Ionisation*, ist Energie nötig, deren Stärke von der Art der Teilchen und der Anzahl der je Teilchen abgetrennten bzw. angelagerten Elektronen abhängt und in Elektronenvolt angegeben wird. Für die

Elektronik bes. wichtig sind I.en gasförmiger Stoffe. Während I.en in Elektronen- und Elektronenstrahlröhren (z. B. in ↑ Bildröhren) unerwünscht sind, bestimmen sie die Funktion der ↑ Gasentladungsröhren. Gase können durch Zufuhr von Wärmeenergie oder durch elektromagnetische Strahlung, z. B. Licht, Röntgen- oder Gammastrahlung, ionisiert werden. Als technisch bes. wichtig hat sich die *Stoßionisation* erwiesen; sie tritt ein, wenn Elektronen mit solcher Geschwindigkeit auf Gasmoleküle treffen, daß sie aus diesen weitere Elektronen abspalten, diese ihrerseits zur neuerlichen I.enbildung beitragen usw., so daß die Anzahl der I.en und Elektronen lawinenartig wächst. Die unter Energieabgabe erfolgende Wiedervereinigung von I.en und Elektronen zu elektrisch neutralen Teilchen heißt *Rekombination*. I.en können wie Elektronen elektrische Ladung transportieren und zur Leitfähigkeit eines Stoffs beitragen (*I.enleitung*). Das ist vor allem in elektrisch leitenden Flüssigkeiten, in Gasen, aber auch in zahlreichen Festkörperkristallen der Fall.

Ionenfleck ↑ Bildröhre 1.

Ionenimplantation ↑ Halbleitertechnologie.

Ionosphäre: im Plasmazustand befindlicher Bereich der Erdatmosphäre zwischen etwa 60 und 10^3 km Höhe, gekennzeichnet durch Ionisationsvorgänge und dadurch vorhandene elektrische Leitfähigkeit. Die I. ist für den Funkverkehr, insbes. den Funkfernverkehr im KW-Bereich, entscheidend, da sie Funkwellen unter gewissen Voraussetzungen zur Erde reflektiert und dadurch die Überbrückung größter Entfernungen ermöglicht.

Ursachen der Ionisation sind vor allem die von der Sonne kommende UV-Strahlung, aber auch Röntgenstrahlung und einfallende Teilchenströme. Durch Wechselwirkung zwischen Ionisations- und Rekombinationsprozessen sowie in Abhängigkeit von der mit Annäherung an die Erdoberfläche sinkenden Strahlungsintensität und den jeweils bevorzugt ionisierten Bestandteilen der Atmosphäre kommt es zur Bildung mehrerer I.nschichten. In ihnen erreicht die Elektronendichte für die Brechung entscheidende Maxima (die gleichfalls hohe Ionendichte ist wegen der großen Ionenmasse und ihrer damit verbundenen Trägheit nahezu unbedeutend). Man unterscheidet:

Ionosphärenschichten

Name	Höhe [km]	Bemerkungen
D	80	nur tagsüber vorhanden
E_1	100	tagsüber ausgeprägter als nachts
E_2	130···180	vor allem im Winter vorhanden
E_s	100···150	„sporadische" E-Schicht, tritt unregelmäßig auf, wolkenartige Struktur von einigen 100 km Durchmesser
F_1	200	vor allem tagsüber und im Sommer vorhanden

Name	Höhe in km	Bemerkungen
F_2	250···400	bei ungestörter I. ständig vorhanden
G	über 400	nur selten zu beobachten

Ausbildung und Verhalten der I. zeigen ausgeprägte Abhängigkeit von der Sonnenstrahlung. So ist die Elektronendichte gegen Mittag am größten und geht während der Nacht auf ihre niedrigsten Werte zurück, ausgenommen in der F_2-Schicht, die ein davon abweichendes Verhalten zeigt. Ebenso sind ein deutlicher Jahresgang und eine Abhängigkeit von der 11jährigen Sonnenfleckenperiode zu beobachten. Daneben treten unregelmäßige Änderungen auf, z. B. Drifterscheinungen in horizontaler Richtung, ferner auf- und absteigende Bewegungen.

Weit stärker auf den Funkverkehr wirken sich *I.nstörungen* aus, die durch bes. Vorgänge auf der Sonne ausgelöst werden. Der *Mögel-Dellinger-Effekt*, nach den um seine Erklärung verdienten Wissenschaftlern *Ernst Hans Mögel* (Deutschland) und *John Howard Dellinger* (USA) benannt, ist Folge einer heftigen Sonneneruption. Dadurch dringt intensive UV- und Röntgenstrahlung bis in die unteren Teile der I. vor und führt dort zu starker Ionisationssteigerung. Kurzwellen werden infolgedessen nahezu völlig absorbiert, so daß KW-Verbindungen für 15 bis 45 min unterbrochen sind. Die *sporadische E-Schicht* ist wahrscheinlich auf in die Erdatmosphäre eindringende Teilchen zurückzuführen und weist eine intensive Elektronenkonzentration auf. Sie deckt mitunter die für den Funkfernverkehr bes. wichtige *E*-Schicht ab und unterbricht oder schwächt für Stunden KW-Verbindungen. Anderseits reflektiert die sporadische *E*-Schicht mitunter UKW, die normalerweise die I. durchdringen, zur Erde und verursacht dadurch Überreichweiten (vgl. Wellenausbreitung). Bes. einschneidend – evtl. tagelange Unterbrechung des KW-Fernverkehrs – wirken sich *Korpuskularstörungen* aus. Von der Sonne stammende Teilchenströme erfahren im magnetischen Erdfeld eine Ladungstrennung und bilden Ringströme um die Erde. Diese können die *F*-Schicht nahezu „auflösen", während gleichzeitig die sporadische *E*-Schicht auftritt. Aus den bereits Stunden vorher beobachtbaren Änderungen des magnetischen Erdfelds kann man sich auf den Eintritt dieser Störungen vorbereiten.

Die Untersuchung der I. ist Aufgabe der *I.nforschung*. Sie gibt Aufschlüsse über das physikalische Verhalten der höheren Atmosphärenschichten, ermöglicht indirekt die Beobachtung und Verfolgung von Vorgängen auf der Sonne und hat insbes. das Ziel, das *Funkwetter*, die Ausbreitungsbedingungen für Funkwellen, für einen kürzeren oder längeren Zeitraum vorherzusagen. Man ermittelt z. B. die *Grenzfrequenz*, die von der Tageszeit abhängige höchste Frequenz, bei der senkrecht nach oben gestrahlte Funkwellen von der I. reflektiert werden, und erhält damit Ausgangsdaten für die Berechnung der für gegebene Übertragungsstrek-

ken und -zeiten höchsten brauchbaren Frequenz [*MUF*, Abk. für engl. *M*aximal *U*suable *F*requency]. Man mißt ferner die Dämpfung der Wellen in der I., woraus sich die niedrigste brauchbare Frequenz [*LUF*, Abk. für engl. *L*owest *U*suable *F*requency] ergibt, man versucht, die I.nstörungen zu erforschen, in ihren Einflüssen abzuschätzen und vorherzusagen usw.

Wichtigste Methode der I.nforschung ist neben sorgfältiger Beobachtung der Erscheinungen beim Funkfernverkehr die *Echolotmethode*: Funkimpulse werden senkrecht nach oben gestrahlt und Laufzeit sowie Intensität des zurückkehrenden Echos (sofern Reflexion in der I. erfolgt) gemessen. Um einen großen Frequenzbereich schnell erfassen zu können, verwendet man *Durchdrehsender*. Sie durchlaufen in Sekunden oder wenigen Minuten ein Frequenzband von z. B. 0,5 bis 20 MHz und senden dabei Impulse von etwa 10^{-4} s Dauer. Die Echos werden registriert und ergeben ein *Ionogramm*, aus dem Schichthöhe und Grenzfrequenz abzulesen sind. Daneben gewann die I.nforschung in den vergangenen Jahren aus Höhen- und Forschungsraketenaufstiegen, durch von Meßsatelliten übertragene Werte und aus der Auswertung der Funksignale von Raumflugkörpern wichtige Erkenntnisse.

IRED: [Abk. für engl. *I*nfrared *E*mitting *D*iode, infrarot(es Licht) emittierende Diode] ↑ Diode 2.

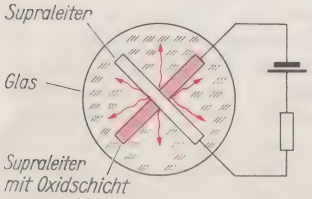
ISB-Verfahren ↑ Einseitenbandverfahren.

Isolierwanne ↑ Halbleiterblocktechnik.

J

Janet-System ↑ Streuverbindung.

Josephson-Element: Bauelement der ↑ Kryoelektronik auf der Grundlage eines nach dem engl. Physiker *B. D. Josephson* benannten Effekts an Supraleitern. Eine auf Glas aufgedampfte, streifenförmige Supraleiterschicht wird mit einer möglichst dünnen (z. B. 1 nm) Oxidschicht als Isolator versehen und darüber (meist rechtwinklig zur unteren Schicht) eine 2. Supraleiterschicht gebracht; beide Schichten liegen in einem Stromkreis. Ihre Kreuzungsstelle ist Ausgangspunkt elektromagnetischer



Josephson-Element

Strahlung im Höchstfrequenzbereich (*quantenmechanischer Tunneleffekt*). J. können daher als Oszillatoren, in den Misch-und-Oszillator-Stufen von Mikrowellenempfängern sowie in der Meßtechnik eingesetzt werden.

K

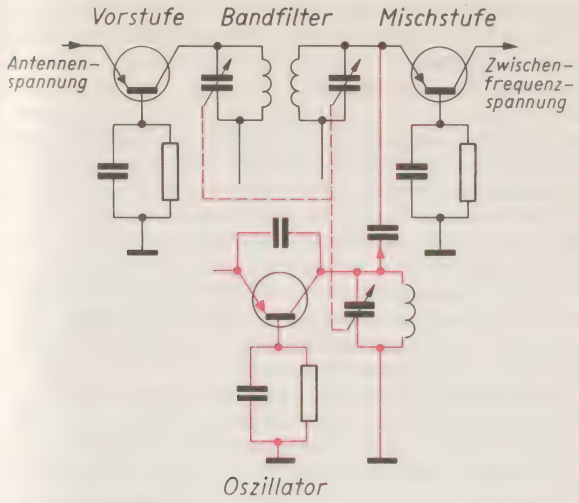
Kabelfernsehen [Abk. *CATV*, engl. *c*able *t*ele*v*ision]: System zum störungsfreien, leitungsgebundenen Empfang insbes. von Programmen des Fernsehrundfunks und des Hörfunks sowie von zusätzlichen, meist lokal produzierten Programmen und Informationen (z. B. Lehrgänge, Verkehrshinweise, Handelsinformation). Fernseh- und Hörfunkprogramme werden an günstiger Stelle mit hochwertigen Antennenanlagen, über spezielle Zubringerstrecken (vgl. Richtfunkstrecke) und künftig von Satelliten (vgl. Satellitenfernsehen) empfangen und ebenso wie die örtlich erzeugten Programme und Informationen dem Verteilernetz des K. eingespeist.
Die Übertragung geschieht meist im VHF-Fernseh- und UKW-Hörfunkbereich; UHF-Programme werden in diese Bereiche umgesetzt und am Empfängereingang durch einen ↑ Konverter rückgesetzt. Die Verteilernetze von ↑ Gemeinschaftsantennenanlagen werden in das K. integriert. Neben Erhöhung der Empfangsqualität vergrößert das K. das Programmangebot. Anlagen mit 12 Fernseh- und 12 Hörfunkkanälen, > 50 000 Teilnehmern und etwa 25 km Versorgungsradius sind in Betrieb. Möglichkeiten, zum Zweiwegsystem überzugehen (Teilnehmer kann nicht nur empfangen, sondern mit Bibliotheken, Rechenzentren, Warenhäusern, Reisebüros usw. Dialog aufnehmen) werden diskutiert, erprobt und in Anlagen für das K. teilweise technisch vorbereitet.
Kaltkatodenröhre, *Relaisröhre, Glimmrelais*: im Bereich der Glimmentladung arbeitende Gasentladungsröhre mit Edelgasfüllung im Glaskolben und kalter Reinmetallkatode, die außer dieser und der Anode mindestens eine weitere Elektrode zum Einleiten der Zündung enthält und für Schalt- und Steuerungsaufgaben entwickelt wurde. Das zu steuernde Bauelement, z. B. ein Relais, wird in den Anodenkreis der K. geschaltet, die Spannung zwischen Katode und Anode niedriger als die Zündspannung (z. B. 300 V) gewählt, so daß die K. zunächst nicht zündet. Nahe der Katode ist eine Zündelektrode (Starter) angebracht, so daß die Entladungsstrecke zwischen beiden bereits bei einer Spannung oder einem Spannungsimpuls geringer Größe (z. B. 90 V) zündet. Die Entladung springt auf die Hauptentladungsstrecke Katode-Anode über, falls an der Anode eine genügend hohe positive Spannung liegt; danach hat die Zündelektrode keine Steuerwirkung mehr. Zum Unterbrechen der Entladung muß die Spannung Katode-Anode unter die Löschspannung gesenkt oder

abgeschaltet werden. Dies kann z. B. durch einen negativen Impuls an der Anode oder einen positiven Impuls an der Katode geschehen, wobei die Impulsdauer die zur Entionisation der Entladungsstrecke nötige Zeit (bis 1 ms) überschreiten muß. Liegt statt Gleich- eine Wechselspannung zwischen Katode und Anode der K., so erlischt die Entladung gegen Ende jeder positiven Halbwelle. In K. mit 2 Zündelektroden kann die Zündung von 2 voneinander unabhängigen Eingängen aus erfolgen. Um das Zünden weiter zu erleichtern, ist in manche K. eine zusätzliche *Vorionisationselektrode* eingebaut, über die ständig ein sehr geringer Strom fließt.
K. steuern Leistungen bis zu einigen Watt; sie nehmen im Unterschied zu Röhren mit geheizten Katoden im Ruhezustand keine Leistung auf, sind sehr wirtschaftlich, entwickeln wenig Wärme und zeichnen sich durch große Lebensdauer aus. Sie hatten daher in Signal-, Kontroll- und Steuerungsanlagen, in Alarm-, Zählschaltungen u. ä. große Verbreitung gefunden. K. werden heute durch Halbleiterbauelemente ersetzt.

Kamerakontrolleinheit, -kopf und **-zug** ↑ Fernsehkamera.

Kanal: das für eine Signalübertragung erforderliche Frequenzband. Die Breite des K. hängt von der Art der zu übermittelnden Nachricht ab und beträgt z. B. für Fernsprechen 300 bis 3 400 Hz (international festgelegt), bei Amplitudenmodulation von Rundfunksendern 9 kHz (Trägerfrequenz und 2 Seitenbänder), für Frequenzmodulation von UKW-Rundfunksendern 300 kHz, für VHF-Fernsehsender 7 MHz, für UHF-Fernsehsender 8 MHz (vgl. Fernsehkanäle), im Verkehrsfunk 25 oder 50 kHz. Eine störungsfreie Übertragung setzt voraus, daß verschiedene K. einander nicht überschneiden und von der Empfangseinrichtung getrennt aufgenommen werden können.

Kanalwähler, *Tuner*: zu einer konstruktiven Einheit zusammengefaßte Eingangsstufe eines Fernsehempfängers, bestehend aus einer Vorverstärker- und einer Misch-und-Oszillator-Stufe. Aufgabe des K. ist es, die in einem wählbaren Fernsehkanal von der Antenne gelieferten Signale zu verstärken und in die niedrige ZF-Spannung umzusetzen. Da Schwingungskreise mit Spule und Kondensator zwar im VHF-, nicht aber im UHF-Bereich benutzt werden können, werden in Fernsehempfängern meist getrennte K. für VHF- und UHF-Bereich (Bänder I/III bzw. IV/V) vorgesehen.
K. für den VHF-Bereich werden i. allg. mit 3 in Basisschaltung (↑ Verstärker 1.2.) arbeitenden Transistoren bestückt (Vorverstärkung, Erzeugung der Oszillatorspannung, Mischung, Abb.), wobei in jüngster Zeit auch Feldeffekttransistoren eingesetzt werden. Röhrenbestückte K. enthalten i. allg. in der Vorverstärkerstufe eine in Gitterbasisschaltung (↑ Verstärker 1.1.) arbeitende Triode oder eine Doppeltriode in ↑ Kaskodeschaltung, eine Triode als Oszillatorröhre und eine Pentode als Mischröhre.
Die Abstimmung des VHF-K. erfolgt induktiv, indem für jeden Kanal frequenzbestimmende Induktivitäten, auf einer drehbaren Trommel (*Trommel-K.*) oder Scheibe angebracht, in Kontakte einrasten, oder



VHF-Kanalwähler (vereinfacht)

indem durch Tasten die entspr. Schwingungskreise eingeschaltet werden. In mechanisch *durchstimmbaren K.* werden die Kanäle stetig mit Drehkondensatoren eingestellt.

UHF-K. werden mit Transistoren, vereinzelt mit Tunneldioden bestückt. Schwingungskreise sind ↑ Leitungskreise, die über veränderbare Kondensatoren abgestimmt werden.

Moderne K. sind mit Kapazitätsdioden zur Abstimmung und mit Schaltdioden zur Bereichsumschaltung bestückt. Sie ermöglichen die Speicherung von VHF- und UHF-Kanälen und deren Abruf durch Druck- oder ↑ Berührungsschalter, wobei die Anzeige des eingeschalteten Kanals z. B. durch Glimmlampen, Leuchtdioden oder Ziffernanzeigeröhren erfolgt. Auch eine ↑ Ultraschall-Fernbedienung der Kanaleinstellung ist bei diesen Abstimmverfahren verbreitet. Fernsehempfänger ohne UHF-K. können durch einen ↑ Konverter, der neben dem Empfänger aufgestellt und mit dessen Antennenanschluß verbunden ist, für UHF-Empfang nachgerüstet werden.

Kapazität und **kapazitiver Widerstand** ↑ Kondensator.

Kaskodeschaltung: HF-Verstärkerstufe für Empfänger von Signalen im UKW-Bereich, bestehend aus einer Reihenschaltung von 2 Triodensystemen, von denen das 1. in Katodenbasisschaltung, das 2. in Gitterbasisschaltung (↑ Verstärker 1.1.) arbeitet. Der Eingangswiderstand des 2. Systems ist zugleich Ausgangswiderstand des 1. Systems. Die K. zeichnet sich durch eine Verstärkung aus, die etwa derjenigen einer Pentode entspricht, ist dieser aber durch geringeres Rauschen überlegen.

Für K.en, die in VHF-Kanalwählern verbreitet waren, wurden spezielle Verbundröhren (z. B. PCC 88) entwickelt. Das Prinzip der K. wird heute mit Transistoren ausgeführt.

Kassetten-Recorder ↑ Magnetbandgerät.

Katode: Elektrode, die mit dem negativen Pol einer Spannungsquelle verbunden ist. In Elektronen-, Gasentladungsröhren und elektronischen Geräten (z. B. Elektronenmikroskopen) ist die K. Elektronenquelle. Als K.nmaterial werden Stoffe geringer ↑ Austrittsarbeit bevorzugt; die zur ↑ Elektronenemission nötige Energie wird der K. von außen zugeführt. Zur Erhitzung der bes. wichtigen *Glüh-K.* dient ein stromdurchflossener Heizfaden. Er wird aus Wolframdraht gefertigt und kann selbst K. sein oder diese lediglich erhitzen (direkte bzw. indirekte *Heizung*). Die Heizung geschieht mit Wechsel- oder Gleichstrom, wobei je nach Röhrentypen und verfügbarer Heizspannung die Heizfäden mehrerer Röhren parallel oder hintereinander geschaltet werden.

Verbreitetste Glüh-K. ist die *Oxid-K.* Ihre Emissionsfähigkeit wird durch eine äußere Schicht von Oxiden geringer Austrittsarbeit gesteigert. Bei indirekter Heizung besteht die Oxid-K. aus einem Nickelröhrchen, in das ein Wolfram-Heizfaden in Haarnadel- oder Kehrwendelform eingeführt ist. Letzterer wird durch eine an seiner Oberfläche kataphoretisch abgeschiedene Aluminiumoxidschicht gegenüber dem Nickelröhrchen isoliert, das mit einer Emissionspaste aus Karbonaten von Barium, Strontium und Kalzium o. a. überzogen ist. Die K. wird dann, um ihre volle Emissionsfähigkeit zu erhalten, während des Evakuierens der Röhre durch Erhitzen und später zusätzliches Anlegen einer Anodenspannung formiert und aktiviert. Bei diesem Vorgang bildet sich in dem Karbonatüberzug ein halbleitendes Oxid – nach dem die Oxid-K. ihren Namen hat – mit als Störstellen (vgl. Halbleiter) eingelagerten Bariumatomen. Während des Betriebes dringen weitere Bariumatome allmählich aus dem Schichtinneren zur Oberfläche vor. Indirekt geheizte Oxid-K. finden Verwendung in Empfänger-, Elektronenstrahl-, Senderöhren geringer Leistung und Gasentladungsröhren. Da ihre Wärmeträgheit aufgrund ihrer Masse und ihrer Abmessungen relativ groß ist, können sie mit Wechselstrom geheizt werden, ohne das eine störende Beeinflussung („Brummen") des Elektronenstroms auftritt. Die Arbeitstemperatur liegt bei etwa 750 °C. Bei direkt geheizten Oxid-K. trägt der Heizfaden selbst eine Bariumoxidschicht. Wegen der geringen Wärmeträgheit ist i. allg. Gleichstrom-Heizung erforderlich.

Zu Varianten der Glüh-K. zählen: 1. *Vorrats-K.*, bei der im Betrieb die Nachlieferung von Barium aus einem in der K. enthaltenden Vorrat erfolgt. Bei der nach ihrem Erfinder benannten *Lemmens-K.* befindet sich eine Bariumverbindung unter einer porösen Wolframschicht in einem kleinen Molybdänbehälter. Wird die K. geheizt, so wandern Ba-Atome durch die Wo-Schicht zur K.noberfläche. Bei einer anderen Art von Vorrats-K., den „imprägnierten" K., befindet sich der Ba-Vorrat als Ba-Al-Verbindung in den Poren des Wo-Sinterlings selbst. Die Vorrats-K.

zeichnet sich durch hohen Emissionsstrom, große Lebensdauer und relativ geringe Anfälligkeit gegen von außen eindringende Fremdstoffe aus. Sie ist insbes. für die Emission impulsförmiger Elektronenströme geeignet, wie sie z. B. in Höchstfrequenzröhren hoher Leistung benötigt werden.

2. *Metallfilm-K.*, direkt geheizte K., deren Oberfläche durch eine extrem dünne (etwa einatomige) Fremdstoffschicht abgedeckt wird. Wechselwirkungen zwischen Grundmetall und Fremdstoffschicht führen zu Ladungsverschiebungen. Dadurch bildet sich in der Fremdstoffschicht ein elektrisches Feld, das zur Verminderung der Austrittsarbeit genutzt wird. Von den möglichen Kombinationen zwischen Grundmetall und Fremdstoff ist die thorierte *Wolfram-K.* bes. wichtig. Sie besteht aus Wolfram mit einem Zusatz von Thoriumoxid, das durch Erhitzen der K. auf etwa 2500 °C reduziert wird. Danach wird die K.ntemperatur soweit gesenkt (etwa auf 2000 °C), daß mehr Thoriumatome zur Oberfläche gelangen als von dieser verdampfen. Es entsteht ein Thoriumfilm.

Die Betriebstemperatur dieses K.ntyps liegt bei 1500 °C. Sie darf jedoch keinen großen Schwankungen unterliegen. Die Empfindlichkeit der thorierten Wolfram-K. gegenüber Sauerstoff- und Wasserdampfspuren wird durch Wärmebehandlung in einer Kohlenwasserstoffatmosphäre vermindert. Thorierte Wolfram-K. werden vor allem in Senderöhren größerer Leistung verwendet.

3. *Reinmetall-K.* sind K. ohne Zusätze zum Vermindern der Austrittsarbeit, meist aus Wolfram bestehend. Diese K. ist unwirtschaftlich, aber relativ unempfindlich gegen den Aufprall von Ionen. Sie wurde bes. in Hochleistungs-↑ Senderöhren eingesetzt, hat aber nur noch geringe Bedeutung.

Foto-K. sind meistens, dem Lichteinfall entspr., großflächig ausgeführt. Ihr Material, meist Alkali- und Erdalkalimetalle mit niedriger Austrittsarbeit, ist vor allem durch den Frequenzbereich des Lichts bestimmt. Foto-K. werden in Bildaufnahmeröhren, Fotovervielfachern und -zellen verwendet.

Kalte Reinmetall-K., stabförmig oder großflächig ausgeführt, finden in Gasentladungsröhren Verwendung.

Katodenbasisschaltung ↑ Verstärker 1.1.

Katodenstrahloszillograph ↑ Elektronenstrahloszillograph.

Katodenstrahlröhre ↑ Elektronenstrahlröhre.

Katodenstrom: der gesamte über die Katode einer Elektronenröhre fließende Elektronenstrom. Enthält die Röhre außer der Anode noch Gitter, so teilt sich der K. und fließt über alle positiven Elektroden.

Katodenwiderstand: Widerstand in der Katodenleitung einer Elektronenröhre. Der durch den Katodenstrom am K. hervorgerufene Spannungsabfall wird als Gittervorspannung und mitunter zur ↑ Gegenkopplung genutzt.

Katodynschaltung ↑ Phasenumkehrstufe.

Kennlinie: grafische Darstellung des Zusammenhangs mindestens zweier

Betriebsgrößen (z. B. Strom/Spannung, Widerstand/Temperatur, Verstärkung/Frequenz) von Bauelementen, -steinen usw. in einem meist rechtwinkligen Koordinatensystem. Besteht Abhängigkeit zwischen 3 Größen, ist ebene Darstellung nur möglich, indem eine Größe stufenweise verändert und für jede Stufe die K. der beiden anderen gezeichnet wird. Die so entstehende *K.nschar* bildet das *K.nfeld*. K. ermöglichen auf einfache Weise das Ermitteln günstiger Arbeitsbereiche und Betriebsbedingungen sowie das Festlegen des ↑ Arbeitspunktes. Vgl. Elektronenröhre, Transistor.

Kernverluste ↑ Spule.

Kerr-Zelle: nach dem engl. Physiker *John Kerr* benannte Anordnung zur trägheitslosen Intensitätsmodulation von Licht auf der Grundlage des elektro-optischen *Kerr-Effekts*: Im elektrischen Feld wirken manche Substanzen doppeltbrechend und zerlegen ein linear polarisiertes Lichtbündel in 2 zueinander senkrecht polarisierte Anteile unterschiedlicher Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Das Lichtbündel verläßt daher das elektrische Feld elliptisch polarisiert. Der in Wellenlängen ausdrückbare Gangunterschied zwischen beiden Anteilen hängt u. a. von der Feldstärke ab. Dies wird in der K. ausgenutzt, um die Intensität eines Lichtbündels nahezu trägheitslos elektrisch zu steuern: Das Licht durchläuft 2 Nicolsche Prismen mit um 90° gegeneinander verdrehten Polarisationsebenen. Zwischen den Prismen ist ein Kondensator angeordnet, dessen mit Nitrobenzol gefüllten Plattenzwischenraum das Licht passiert. Liegt keine Spannung an den Platten, so bleibt das Gesichtsfeld hinter dem 2. Prisma dunkel, da wegen der um 90° verdrehten Polarisationsebenen kein Licht durch die Anordnung dringen kann. Wird dagegen eine Steuerspannung, z. B. eine Tonfrequenzspannung, an die Kondensatorplatten gelegt, so enthält das nunmehr elliptisch polarisierte Licht auch eine Komponente, die vom 2. Prisma hindurchgelassen wird und das Gesichtsfeld im Rhythmus und in Abhängigkeit von der Amplitude der Steuerspannung mehr oder weniger aufhellt.

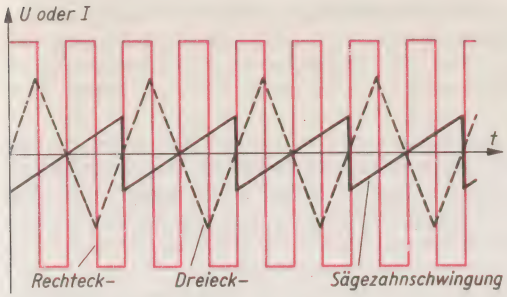
Die K. wird vor allem im ↑ Bildfunk und in der Meßtechnik angewendet.

Kettenleiter: Reihenschaltung symmetrischer passiver ↑ Vierpole, bestehend z. B. aus Induktivitäten und Kondensatoren. K. dienen u. a. zum Aufbau von ↑ Filtern, ↑ Siebketten und ↑ Verzögerungsleitungen.

Kippgenerator ↑ Kippschwingung.

Kippschwingung: Schwingung, deren Verlauf dadurch gekennzeichnet ist, daß Spannungs- bzw. Stromwerte periodisch von einem Wert auf einen anderen springen. Zu den K.en zählen u. a. rechteck- und dreieckförmige Schwingungen oder Kombinationen aus diesen. Bes. Bedeutung haben *Sägezahnschwingungen*, die dadurch charakterisiert sind, daß eine Spannung bzw. ein Strom innerhalb einer bestimmten Zeitspanne zeitlinear auf einen Endwert steigt, um dann innerhalb sehr kurzer (im Idealfall unendlich kurzer) Zeit zum Ausgangswert zurückzuspringen und erneut zu steigen.

K.en bilden die Grundlage für die Erzeugung von ↑ Impulsen und ↑ Pul-



Beispiele für Kippschwingungen

sen. Sägezahnschwingungen sind unentbehrlich für die Ablenkung des Elektronenstrahls in Oszillographen-, Bild- und Bildaufnahmeröhren, für ↑ Zeitgeber u. a. Zur Erzeugung von K.en dienen Kipp- oder K.sgeneratoren, wie ↑ Sägezahngeneratoren, ↑ Sperrschwinger und ↑ Multivibratoren.

Klangfarbenfilter ↑ Musikinstrumente, elektronische.

Klangregelung: gebräuchliche, jedoch nicht exakte Bez. für die wählbare Beeinflussung des Frequenzgangs einer elektroakustischen Wiedergabeanlage durch Schwächen oder Anheben bestimmter Teile des übertragenen Frequenzbands mit dem Ziel, den Klang dem subjektiven Empfinden optimal anzupassen oder Störgeräusche weniger hervortreten zu lassen. Die K. wird meist durch einstellbare, frequenzabhängige ↑ Gegenkopplung erreicht. Zur *Tiefen-* oder *Baßanhebung* führt man z. B. die Gegenkopplungsspannung über einen Kondensator an den Eingang der Verstärkerstufe. Wegen seines frequenzabhängigen kapazitiven Widerstands werden niedrige Tonfrequenz-Wechselspannungen weniger geschwächt als hohe, was eine Tiefenanhebung zur Folge hat. Zur *Höhenanhebung* werden z. B. über einen frequenzabhängigen Spannungsteiler mehr hohe Tonfrequenz-Wechselspannungen aus dem Gegenkopplungszweig abgeleitet als tiefe. Die Folge ist eine Verringerung der Gegenkopplung für hohe Frequenzen und damit eine Höhenanhebung. Höhen- und Tiefenanhebung sind in den meisten elektroakustischen Anlagen getrennt und unabhängig voneinander einstellbar (sog. *Höhen-* und *Tiefenregler*).

Kleinrechner: ↑ Digitalrechenautomat, dessen Leistungsfähigkeit und Anwendungsbreite geringer sind als diejenige von Großrechnern, z. B. kleinere Speicherkapazität, geringere Operationsgeschwindigkeit und Zahl der Befehle, der jedoch zahlreiche Aufgabenstellungen aus Ökonomie, Technik, Wissenschaft usw. hinreichend schnell und genau löst. K. sind durch Anschluß unterschiedlicher ↑ Peripheriegeräte, durch die Möglichkeit der Zusammenarbeit mit anderen Rechnern, durch Zusatzgeräte für Meßwerterfassung und Steuerwertausgabe usw. häufig zu

K.systemen erweiterbar. K. für Berechnungen, z. B. in Konstruktionsbüros, Laboratorien, verzichten oft auf Zusatzgeräte und schriftliche Datenausgabe, haben dann z. B. ↑ Lumineszenzanzeigeeinrichtung, sind für Batterie- und Netzbetrieb eingerichtet und bilden den Übergang zu ↑ Taschenrechnern.

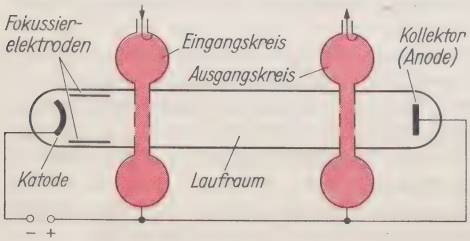
Kleinsignalverstärkung: Aussteuerung verstärkender Bauelemente um einen konstant gehaltenen Arbeitspunkt durch Signale so geringer Amplitude, daß die benutzten Kennlinienstücke als geradlinig bzw. die angegebenen Kenndaten (z. B. bei Transistoren die *h*-Parameter) als konstant angesehen werden können. Bei den ersten Stufen eines ↑ Verstärkers liegt meist K. vor. Vgl. Großsignalverstärkung.

Klirrfaktor: Maß für die in einem Vierpol, etwa einem Verstärker, auftretenden nichtlinearen ↑ Verzerrungen. Der Gesamt-K. ist das Verhältnis des Effektivwerts sämtlicher Oberschwingungen zum Effektivwert des gesamten Schwingungsgemischs am Ausgang des Vierpols unter der Voraussetzung, daß am Eingang eine sinusförmige Schwingung zugeführt wird. Für Wechselspannung u gilt: $K = \sqrt{(u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + \ldots)}/(u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \ldots)$, worin u_1 die Schwingung der Grundfrequenz, u_2, u_3 ... die Oberschwingungen 2., 3. usw. Ordnung bedeuten. Zulässige Maximalwerte des K. sind:

Fernsprechen	etwa 10%
Rundfunksender, amplitudenmoduliert	etwa 4%
Rundfunksender, frequenzmoduliert	etwa 1%
hochwertiger Tonfrequenzverstärker	0,5% bis 1,5%

Der K. ist bei einem gegebenen Vierpol frequenzabhängig und wird i. allg. für eine Frequenz von 10^3 Hz angegeben. Menschen mit musikalischem Gehör nehmen in der Nähe dieser Frequenz K.en bis herab zu 1% als Verzerrung wahr.

Klystron *n*: ↑ Laufzeitröhre, die zur Schwingungserzeugung und -verstärkung, vorwiegend im cm- und m-Wellenbereich, eingesetzt wird. Die von der Katode emittierten und meist durch Fokussierelektroden oder durch ein Magnetfeld zu einem Strahl gebündelten Elektronen durchfliegen unter dem Einfluß einer Gleichspannung den Laufraum des K. Dabei passieren sie je 2 siebartige Gitter von Hohlraumresonatoren (Eingangs- und Ausgangskreis), Kollektor (Anode) und Hohlraumresonatoren haben gegenüber der Katode gleiche Spannung.



Zweikreisklystron

Die Elektronen werden daher durch diese Gleichspannung nur bis zum katodenseitigen Gitter des Eingangskreises beschleunigt. Wird dem Eingangskreis (auch Steuerkreis genannt) Höchstfrequenzenergie zugeführt, so werden die Elektronen beim Passieren des Steuerkreises je nach der Richtung des zwischen den Gittern auftretenden elektrischen Wechselfelds verzögert oder zusätzlich beschleunigt. Sie verlassen den Steuerkreis mit unterschiedlicher Geschwindigkeit, die sie, da im Laufraum keine beschleunigende Spannung mehr wirkt, beibehalten (aus diesem „Treiben" erklärt sich die Bez. *Triftröhre* für K.). An bestimmten Stellen des Laufraums holen die schnelleren Elektronen die langsamen ein. Es entstehen Verdichtungen („Elektronenpakete") und Verdünnungen im Elektronenstrahl; die im Steuerkreis erfolgte Geschwindigkeitssteuerung wird zur Dichtesteuerung. Durchlaufen die Elektronenpakete dann den Ausgangskreis, so erregen sie durch Influenz in ihm elektromagnetische Schwingungen; die Elektronen werden gebremst und geben einen Teil ihrer Energie an das elektromagnetische Feld im Ausgangskreis ab. Werden Ausgangs- und Eingangskreis durch eine Rückkopplungsleitung miteinander verbunden, so arbeitet das K. als Schwingungserzeuger.

Mit dem beschriebenen normalen, je e i n e n Eingangs- und Ausgangskreis enthaltenden *Zweikreis-K.* (Abb.) wird eine etwa 20fache Leistungsverstärkung erreicht. Diese ist um ein Vielfaches größer, wenn man weitere Hohlraumresonatoren zwischen Eingangs- und Ausgangskreis anordnet. Sie werden auf die zu verstärkende bzw. zu erzeugende Frequenz abgestimmt, schwingen aber „frei", d. h., es wird ihnen von außen weder Energie entnommen noch zugeführt. Die in ihnen durch Resonanz erregten elektromagnetischen Schwingungen wirken auf die Elektronen im Laufraum zurück und unterstützen die Bildung von Elektronenpaketen. Mit einem *Dreikreis-K.* (1 Hohlraumresonator zwischen Eingangs- und Ausgangskreis) ist eine etwa 3 000fache, mit einem *Vierkreis-K.* eine bis 10^4fache Leistungsverstärkung zu erreichen. K. geben HF-Leistung bis um 500 kW, bei ↑ Impulsbetrieb > 20 MW. Die Arbeitsfrequenz, die sich vor allem durch die aufeinander abgestimmten Hohlraumresonatoren ergibt, liegt fest und kann nicht wesentlich verändert werden. Für Höchstfrequenz-Leistung zwischen einigen Milliwatt und einigen Watt, z. B. für die Misch-und-Oszillator-Stufen von cm-Wellenempfängern, bevorzugt man das *Reflex-K.*, das nicht zur Verstärkung, sondern nur zur Schwingungserzeugung geeignet ist. Es enthält nur e i n e n Hohlraumresonator, der gleichzeitig als Steuer- und Ausgangskreis dient und an einer gegenüber der Katode positiven Spannung liegt. Diese beschleunigt die Elektronen bis zum 1. Gitter des Hohlraumresonators. Zwischen dem 1. und 2. Gitter werden die Elektronen, wie beim Zweikreis-K., durch das Wechselfeld zwischen beiden Gittern verzögert oder weiter beschleunigt. Damit sind die Voraussetzungen für die Bildung von Elektronenpaketen gegeben. Nach Passieren des 2. Gitters werden die Elektronen durch eine gegenüber der Katode negativen Spannung an einer

Reflektorelektrode abgebremst und zur Rückkehr gezwungen. Durch geeignete Wahl der Reflektorspannung kann man erreichen, daß die sich bildenden Elektronenpakete die Gitter im Hohlraumresonator immer dann durchfliegen, wenn sie durch das Feld zwischen den Gittern gebremst werden; sie geben infolgedessen Energie ab. Es werden elektromagnetische Schwingungen erregt, die sich auskoppeln lassen. Der Vorzug des Reflex-K. gegenüber dem Zwei- und Mehrkreis-K. besteht darin, daß die Arbeitsfrequenz innerhalb eines verhältnismäßig breiten Frequenzbands veränderbar ist. Eine mechanische Abstimmung erfolgt durch Verändern der Abmessungen des Hohlraumresonators, dessen eine Wand dann als biegsame, mit einer Abstimmschraube verstellbare Membran ausgeführt ist. Statt dessen ist auch eine elektrische und damit nahezu trägheitslos arbeitende Abstimmung durch Verändern der Reflektorspannung möglich (Frequenz des in der DDR produzierten Reflex-K. „HRK 301" z. B. veränderbar zwischen 2 885 und 3 175 MHz). Daraus ergeben sich einfache Möglichkeiten für die Frequenzmodulation oder -regelung eines Oszillators, z. B. im Radargerät.

Koaxialkabel, *Koaxialleitung*: HF-Kabel für die Übertragung breitbandiger Signale, z. B. Fernseh- und Hörrundfunkprogramme, Telefongespräche nach Verfahren der Trägerfrequenztechnik. Das K. besteht aus einem zylindrischen Außenleiter (z. B. aus Kupfergeflecht) und einem in der Zylinderachse verlaufenden Innenleiter (meist aus Massivkupfer), dessen genaue Lage z. B. durch Scheiben oder Wendel aus Isoliermaterial gewährleistet wird. Die elektromagnetische Energie breitet sich im Raum zwischen Innen- und Außenleiter aus, ohne Abstrahlung nach außen. Wichtigste Kenngröße des K. ist sein ↑ Wellenwiderstand, der maßgebend vom Verhältnis der Durchmesser von Außen- und Innenleiter bestimmt wird und z. B. bei Antennen-K. meist 75 Ω beträgt. Im Fernmeldeverkehr werden gegenwärtig Frequenzen bis 13 MHz mit K. übertragen. In der Rundfunktechnik wird das K. bis in den dm-Wellenbereich eingesetzt, z. B. für die Verbindung Antenne-Fernsehempfänger.

Koeffizientenpotentiometer ↑ Analogierechenautomat.

Kollektor ↑ Transistor.

Kollektorschaltung ↑ Verstärker 1.2.

Kommandolenkung ↑ Fernlenkung.

Komparator ↑ Analogierechenautomat.

Kompatibilität: „Verträglichkeit" verschiedener Übertragungsverfahren miteinander. So gilt z. B. für Farbfernsehübertragungen die Forderung, diese ohne nennenswerte Qualitätsminderung mit Schwarz-Weiß-Geräten aufnehmen zu können, während umgekehrt Schwarz-Weiß-Sendungen auch von Farbfernsehgeräten (schwarz-weiß) wiedergegeben werden müssen (*Re-K.*). Ebenso müssen stereofon bzw. quadrofon ausgestrahlte Rundfunksendungen mit nicht für Stereo- bzw. Quadrofonieempfang eingerichteten Geräten empfangen werden können.

Kondensator: Bauelement zur Speicherung elektrischer Ladungen, bestehend aus 2 einander nahen, meistens flächenhaften Leitern, den *Be-*

lägen des K., die durch Luft oder ein anderes ↑ *Dielektrikum* getrennt sind. Die Ladungsmenge Q, die ein K. bei Anlegen einer Spannung U an seine Anschlüsse speichert, ist $Q = C \cdot U$.
C ist eine ausschl. von den Abmessungen und vom Aufbau des K. abhängige Konstante, die *Kapazität* des K. und seine wichtigste Kenngröße. Einheit der Kapazität ist das Farad (F; nach dem engl. Physiker *Michael Faraday*). Es gilt 1 F = 1 C/1 V; bevorzugte Untereinheiten sind $1\ \mu F = 10^{-6}$ F und $1\ pF = 10^{-12}$ F. Die Kapazität des K. ist der Fläche der Beläge und der relativen Dielektrizitätskonstanten des zwischen den Belägen befindlichen Dielektrikums direkt, dem Abstand der Beläge umgekehrt proportional. Weitere wichtige Kenngrößen eines K. sind der Verlustfaktor tan δ (↑ Dielektrikum), der Temperaturkoeffizient, der die prozentuale Kapazitätsänderung/grd Temperaturänderung angibt, der Isolationswiderstand sowie die zulässige Betriebsspannung. Während ein K. mit als unendlich annehmbarem Isolationswiderstand keinen Gleichstrom hindurchfließen läßt, setzt er Wechselströmen einen frequenzabhängigen *kapazitiven Widerstand* X_c entgegen: $X_c = 1/2\pi f \cdot C$. Der Wechselstrom durch einen verlustfrei gedachten K. eilt der Wechselspannung an den Belägen um 90° voraus.
K.en werden zur Trennung der Gleichströme von Wechselströmen, zum Aufbau von Schwingungskreisen, Filter- und Siebgliedern, zur Kopplung von Baustufen, zur Ableitung störender Wechselströme, zur Teilung von Wechselspannungen sowie in Anordnungen zur Impulsformung und -gewinnung benötigt. Der Kapazitätsbereich von Fest-K.en erstreckt sich von wenigen Pico- bis zu tausenden Mikrofarad.
Die Beläge von *Papier-K.en* sind dünne, bandförmige Al-Folien, die durch ein Dielektrikum aus paraffiniertem Spezialpapier getrennt und mit diesem zu zu einem Wickel gerollt werden (*Wickel-K.en*). Sie werden mit Epoxidharz (*Duroplast-K.en*) bzw. Kunstwachs (*Gewaplast-K.en*) vergossen oder durch einen Metallbecher (*Becher-K.en*) bzw. durch ein Keramikrohr (*Sikatrop-K.en*) geschützt. Zur Verringerung der Induktivität des Wickels sind die Folien häufig seitlich gegeneinander versetzt; die an den Stirnseiten hervortretenden Folienwindungen werden sämtlich leitend miteinander verbunden („induktivitätsarme" Papier-K.en). Der Verlustfaktor ist groß (bei 10^{-2}) und mit der Frequenz steigend, der Isolationswiderstand (einige Gigaohm) mitunter zu niedrig; außerdem wirken sich Alterung und Temperaturänderungen deutlich auf die Kapazität aus (Änderungen von mehreren Prozenten im Jahr).
Geringere Abmessungen bei gleicher Kapazität haben *Metallpapier-K.en* (*MP-K.en*) aus dünnen Papierstreifen als Dielektrikum, auf das als Beläge ein etwa 0,1 μm dicker Metallfilm aufgedampft ist. Sie sind „selbstheilend"; schlägt das Dielektrikum aufgrund zu hoher Spannung am K. durch, so verdampft das Metall um die Durchschlagstelle und unterbricht den Kurzschluß. Dieser Vorgang dauert nur wenige Mikrosekunden, und ein Kapazitätsverlust ist wegen der sehr kleinen verdampften Flächen kaum bemerkbar. Die elektrischen Kennwerte des Metallpapier-K. äh-

neln denen des Papier-K. Das gilt auch für *Lackfilm-K.en*, deren Beläge auf eine Kunststoffolie gedampft werden. Papier-, Metallpapier- und Lackfilm-K.en werden vorwiegend im NF-Bereich eingesetzt.
Günstigere elektrische Kenngrößen (Verlustfaktor bei $3 \cdot 10^{-4}$, Isolationswiderstand $> 10^5$ MΩ, geringe Herstellungstoleranzen, geringer Alterungs- und Temperatureinfluß, geringe Feuchtigkeitsempfindlichkeit) weisen *Plast-(Kunststoff-)Folien-K.en* auf. Als Dielektrikum dient Polystyrol-, Polycarbonat oder Polyesterfolie; die Beläge bestehen aus Metallfolien. Kunststoffolien-K.en werden im NF- und HF-Bereich verwendet.
Für den HF- und den Höchstfrequenzbereich sind *Keramik-K.en* geeignet. Sie enthalten als Dielektrikum scheiben-, rohr- oder hütchenförmige, dünnwandige Keramikkörper, in die metallische Beläge eingebrannt sind. Keramik-K.en zeichnen sich durch sehr gute elektrische Eigenschaften aus, wie Verlustfaktor bei $3 \cdot 10^{-4}$, Isolationswiderstand bis 10^6 MΩ, kleiner, durch die Zusammensetzung des Dielektrikums wählbarer Temperaturkoeffizient und hohe zeitliche Konstanz der Kapazität. Keramik-K.en niedriger relativer Dielektrizitätskonstante ($\varepsilon < 500$), für die z. B. Rutil (Titandioxidbasis) als Dielektrikum verwendet wird, haben bes. günstige und konstant bleibende elektrische Kennwerte. Als Dielektrikum von Keramik-K.en mit $\varepsilon \geqq 2 \cdot 10^3$ ist Epsilan (Bariumtitanatbasis) gebräuchlich; der hohe ε-Wert ermöglicht eine große Kapazität bei geringem Raumbedarf.
Durchführungs-K.en sind eine spezielle Ausführung von Papier-, Metallpapier- oder Keramik-K.en zur Ableitung störender Wechselspannungen und -ströme. Sie verhindern z. B., daß solche Spannungen über Speiseleitungen aus einem Abschirmgehäuse nach außen dringen. Durchführungs-K.en sind meist zylindrisch oder scheibenförmig aufgebaut. Ein Belag wird mit dem hindurchführenden Leiter, der andere mit dem Abschirmgehäuse verbunden.
Elektrolyt-K.en haben das höchste Verhältnis Kapazität/K.volumen. Als Beläge dienen eine Al-Folie, die zur Vergrößerung der wirksamen Oberfläche häufig aufgerauht ist, und eine mit einem Elektrolyten getränkte Papierfolie, die mit einer Anschlußelektrode verbunden ist. Dielektrikum dieser K.en ist eine höchstens einige Mikrometer dicke, durch elektrochemische Vorgänge auf der Al-Folie gebildete Aluminiumoxidschicht. Der positive Pol der Betriebsspannung muß stets an der Al-Folie liegen (sonst Zerstörung des K.). Elektrolyt-K.en sind daher nur für Gleichspannung (allenfalls mit geringer Wechselspannungskomponente) verwendbar. „Ungepolt", d. h. beliebig anschließbar, sind 2 in Reihe gegeneinander geschaltete Elektrolyt-K.en. Im Betrieb fließt ein Reststrom durch Elektrolyt-K.en, ihr Verlustfaktor ($> 0{,}05$) steigt mit der Frequenz, die Kapazitätskonstanz ist gering und stark temperaturabhängig. Sie werden bis 10^4 μF Kapazität und bis um 500 V Betriebsspannung produziert und finden vor allem in Siebketten von Stromversorgungsteilen und im NF-Bereich Anwendung. *Tantal-K.en* sind Elek-

trolyt-K.en mit Tantal als festem Belag (poröser, gesinterter Körper, Drahtwendel oder Folie), Tantalpentoxid als Dielektrikum und Mangandioxid als 2. Belag. Sie arbeiten verlustfreier als Al-Elektrolyt-K.en, weisen geringere Restströme, größere Kapazitätskonstanz, längere Lebensdauer und höhere Betriebssicherheit auf. Durch ihre sehr geringen Abmessungen (z. B. Erbsengröße bei 10 μF und 6 V Betriebsspannung) eignen sie sich bes. für den Einsatz in miniaturisierten elektronischen Geräten.

K.en mit veränderbarer Kapazität ($C \leqq 10^3$ pF) werden zur Abstimmung und zum Abgleichen von Schwingungskreisen benutzt. *Dreh-K.en* enthalten als Beläge ein feststehendes Plattenpaket, den Stator, und ein zwischen die Statorplatten schwenkbares Plattenpaket, den Rotor. Meist dient Luft als Dielektrikum, sonst Glimmer, Plast, Spezialpapier oder Öl. Die jeweilige Kapazität wird durch die einander gegenüberstehenden Stator- und Rotorflächen bestimmt. Für Meßeinrichtungen bevorzugt man eine Plattenform mit dem Drehwinkel proportionaler Kapazitätsänderung, für Schwingungskreise dagegen einen Plattenschnitt, bei dem (nahezu lineare Frequenzeinteilung auf der Skale von Funkempfängern!) der Drehwinkel der Frequenzänderung proportional ist. Für die gleichzeitige Abstimmung mehrerer Schwingungskreise werden oft mehrere Dreh-K.en konstruktiv zusammengefaßt und mit Hilfe einer gemeinsamen Achse bedient. *Trimmer* sind veränderbare K.en, die nur einmal oder selten eingestellt werden, etwa beim Abgleichen von Schwingungskreisen. Sie bestehen z. B. aus 2 gegeneinander verdrehbaren Keramikscheiben mit eingebrannten Metallbelägen oder aus gegeneinander verschiebbaren Metallzylindern.

Kondensator-(Hochspannungs)-Zündung ↑ Zündanlage, elektronische.

Konjunktion ↑ logische Grundschaltungen.

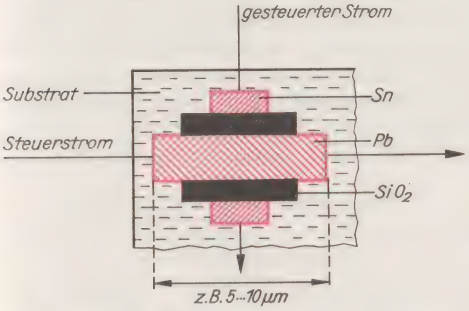
Konvergenz und **Konvergenzsystem** ↑ Bildröhre 2.

Konverter: 1. *Funktechnik* Gerät, das durch ↑ Mischung Eingangswechselspannungen eines bestimmten Frequenzbereichs in Wechselspannungen eines anderen umsetzt, meist als Vorsatzgerät gebaut und benutzt, mit dem sich durch einen gegebenen Empfänger auch Signale mit Frequenzen aufnehmen lassen, für die er selbst nicht eingerichtet ist. Im Prinzip ist ein K. eine Misch-und-Oszillator-Stufe, in der aus zu empfangender Eingangswechselspannung und Oszillatorspannung eine ZF-Spannung, die Ausgangswechselspannung des K., gewonnen wird. Sie liegt in einem der Abstimmbereiche des nachgeschalteten Empfängers und wird dessen Antennenanschluß zugeführt. Der Empfänger wirkt also für den K. als ZF-Verstärker, Demodulator und NF-Verstärker. Ist der Empfänger selbst ein Superhet, so bilden K. und Empfänger einen *Doppelsuperhet* (↑ Superhet). Werden Eingangs- und Oszillatorschwingungskreis des K. abgestimmt, dann bleibt die Empfängerabstimmung nach einmaligem Einstellen auf die Ausgangsfrequenz des K. unverändert. Soll ein nur relativ schmales Frequenzband umgesetzt werden, so kann der Oszillator des K. für eine Frequenz konstruiert und der

abstimmbare Eingangskreis durch ein Filter für das interessierende Frequenzband ersetzt werden. Dann wird nicht am K., sondern mit dem nachgeschalteten Empfänger abgestimmt, dessen Eingangsstufen jetzt einen abstimmbaren ZF-Verstärker darstellen.
K. werden z. B. angewendet, um hochwertige KW-Empfänger auch für Empfang im Höchstfrequenzbereich nutzen zu können, um Fernsehempfänger für den Empfang von UHF-Sendern nachzurüsten oder um durch Gemeinschaftsantennen aufgenommene Signale von UHF-Sendern zur Verteilung über das Leitungsnetz und zur Aufnahme durch ältere Empfänger in Kanäle eines niedrigeren Frequenzbands umzusetzen. – **2.** *Datenverarbeitungstechnik* Gerät, das Daten von einem Datenträger auf einen anderen überträgt und dabei die Darstellungsform ändert (z. B. von Lochkarte auf -streifen).
Kopfhörer, *Fernhörer*: Schallwandler zur Wiedergabe von Sprache und Musik, der über die Ohrmuscheln gestülpt oder – in miniaturisierter Ausführung – in den äußeren Gehörgang gesteckt wird. Ältester und zugleich verbreitetster K. ist der *elektromagnetische K.* Die umzuwandelnde Tonfrequenz fließt durch 2 Spulen auf den Polschuhen eines Dauermagneten. Eine davor ausgespannte, dünne Eisenmembran wird im Rhythmus der Tonfrequenzen bewegt und versetzt die Luft in Schallschwingungen. K. werden auch nach dem Prinzip des elektrostatischen oder piezoelektrischen ↑ Lautsprechers gebaut, während die Wirkungsweise von Miniatur-K. meist der dynamischer Lautsprecher entspricht. K. werden heute noch von Funkern in festen und beweglichen Funkstationen (Flugzeuge, Panzer, Funkwagen), miniaturisierte K. bei Konferenzen mit Teilnehmern unterschiedlicher Sprache zum Empfang der Übersetzung, in Hörhilfen und zum Anschluß an Taschenempfänger verwendet. Hochwertige K. dienen auch zur stereofonen Widergabe von Schallereignissen. „Drahtlose" K. bilden eine konstruktive Einheit mit einem miniaturisierten (Ultraschall)-Empfänger und dienen z. B. zum Empfang des Fernsehbegleittons bei abgeschalteten Lautsprechern (vgl. Ultraschall-Fernbedienung).
Kopiereffekt: Erscheinung, daß bei der Wiedergabe von Magnetbändern oft ein (leises) Vor- oder Nachecho zu hören ist. Seine Ursache sind die im Wickel dicht benachbarten, einander teilweise magnetisierenden Schichten des Magnetbands.
Korpuskularstörung ↑ Ionosphäre.
kosmische Radiostrahlung ↑ Radioastronomie.
Kristallzüchtung ↑ Einkristall.
Kryoelektronik: Teilgebiet der Elektronik, das die Anwendung der Supraleitfähigkeit auf Bauelemente und Schaltungen untersucht. Genutzt wird z. B. der Josephson-Effekt (vgl. Josephson-Element) oder die Erscheinung, daß ein Supraleiter unterhalb seiner kritischen Temperatur (Sprungtemperatur) durch ein Magnetfeld entspr. Stärke vom supra- in normalleitenden Zustand gebracht werden kann (↑ Kryotron). Die K. befaßt sich gegenwärtig bes. mit der Entwicklung von Schalt- und Spei-

cherelementen für EDVA, von schwingungserzeugenden bzw. verstärkenden Bauelementen sowie von Wellenleitern und Hohlraumresonatoren.

Kryotron *n*: Bauelement der ↑ Kryoelektronik zur Steuerung eines Stromes durch einen zweiten. Das wegen der damit erreichbaren hohen Bauelementendichte (bis 10^4 BE/cm^2) meist in ↑ Dünnschichttechnik (Abb.) ausgeführte K. wird unter die Sprungtemperatur gekühlt; der Widerstand der Zinnschicht ist damit unmeßbar gering. Das Magnetfeld eines Steuerstroms bestimmter Stärke durch die Bleischicht hebt die Supraleitfähigkeit auf, der Widerstand der Zinnschicht tritt in Erscheinung. K. lassen sich z. B. zum Aufbau von ↑ logischen Grundschaltungen und ↑ Speichern nutzen.



Dünnschicht-Kryotron (Aufbauschema)

Kugelschreiber, elektronischer ↑ piezoelektrischer Effekt.

Kugelstrahler ↑ Antenne.

Kursschreiber ↑ Decca-Verfahren.

Kurzschluß, akustischer ↑ Lautsprecher.

Kurzwellen ↑ Frequenzbereiche.

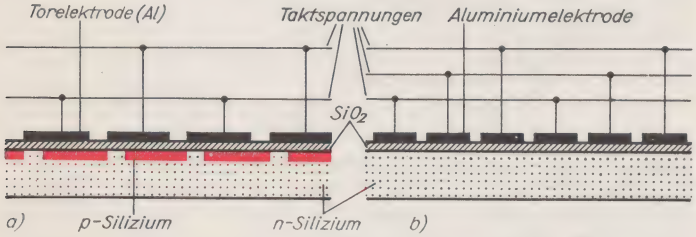
Kurzwellenamateur ↑ Amateurfunk.

Kurzwellentherapie: Heilbehandlung durch ↑ Hochfrequenzerwärmung. Die Wärme entsteht im Gewebe selbst durch Wirbelströme oder dielektrische Verluste im magnetischen bzw. elektrischen Wechselfeld zwischen dem Anwendungsbereich entspr. geformten Elektroden. Die Arbeitsfrequenz beträgt meist 27,12 MHz, zur besseren Tiefenwirkung und gleichmäßigeren Durchwärmung auch um 41 MHz. Bei der *Mikrowellentherapie* (Frequenz z. B. 2,4 GHz) setzt man die zu behandelnden Körperpartien der gebündelten Strahlung eines Höchstfrequenzgenerators aus, wodurch örtlich eng begrenzte Bezirke ohne wesentliche Belastung benachbarten Gewebes erwärmt werden können.

L

Ladekondensator ↑ Gleichrichter.

Ladungsverschiebungsschaltung: MOS-↑ Schaltkreis, in dem Informationen durch Kondensatorladungen repräsentiert werden, die mit Hilfe rechteckig verlaufender Taktspannungen an Elektrodengruppen schrittweise verschoben werden können. In der *Eimerkettenschaltung* [Abk. *BBD* von engl. *B*ucket *B*rigade *D*evice, Abb. a] werden die Speicherkondensatoren durch die Kapazitäten zwischen Torelektroden und eindiffundierten *p*-Gebieten einer MOSFET-Reihe gebildet. In einem Kondensator gespeicherte Ladung wird bei jedem Takt um einen Kondensator weitergeschoben. In *ladungsgekoppelten Schaltungen* [Abk. *CCD* von engl. *C*harge *C*oupled *D*evice, Abb. *b*] bilden Halbleitermaterial, SiO_2-Schicht und sehr dicht ($2 \cdots 3$ μm) benachbarte Al-Elektroden die Speicherkondensatoren. Für eine eindeutige Verschiebungsrichtung sind i. allg. 3 verschieden große Taktspannungen nötig. – L.en eignen sich zur Verarbeitung digitaler und analoger Signale. Sie können z. B. für ↑ Speicher und ↑ Verzögerungsleitungen Verwendung finden. Von bes.



Ladungsverschiebungsschaltung: BBD- (a) und CCD-Anordnung (*b*)

Bedeutung sind L.en für Bildwandler zur unmittelbaren Umwandlung eines optischen Bildes in elektrische Bildsignale. Die Ladung der als dichtes Flächenraster angeordneten Speicherkondensatoren geschieht über den ↑ lichtelektrischen Effekt, an die Stelle der Abtastung durch einen Elektronenstrahl tritt zeilenweise Ladungsverschiebung. Erste Ausführungen „röhrenloser Fernsehkameras" werden bereits eingesetzt.

Landekurssender und **-empfänger** ↑ Instrumentenlandesystem.

Landfunkdienst, beweglicher ↑ Verkehrsfunk.

Langlebensdauerröhre ↑ Elektronenröhre.

Laser [Abk. für engl. *L*ight *A*mplification by *S*timulated *E*mission of *R*adiation, Lichtverstärkung durch induzierte Strahlungsemission]: Lichtquelle für den Bereich von Infrarot bis Ultraviolett auf der Grundlage induzierter Emission. Der Mechanismus des L. entspricht dem des ↑ Maser, jedoch liegen Pumpfrequenz und emittierte Frequenz im op-

tischen Teil des elektromagnetischen Spektrums. Nach Betriebs- und Strahlungsweise unterscheidet man *Impuls-* (Emission von Lichtblitzen) und *Dauerstrich-L.* (Emission von Dauerlicht), nach der das Licht emittierenden Substanz *Festkörper-, Halbleiter-, Gas-* und *Flüssigkeits-L.*

1. *Festkörper-L.* enthalten meist als Emissionssubstanz einen stabförmigen (Durchmesser etwa 1 cm, Länge einige Zentimeter), mit Chromionen dotierten Rubinkristall (*Rubin-L.*). Die zur Anregung der Emission nötige Pumpenergie wird dem Rubin von außen durch Lichtblitze hoher Leistung zugeführt, die durch periodische Entladung eines Kondensators über eine Gasentladungslampe, z. B. eine Xenon-Blitzlichtlampe, gewonnen werden. Die Lampe umgibt den Rubin als Wendel oder wird stabförmig in einer der beiden Brennlinien eines Rohrs mit elliptischem Querschnitt und reflektierender Innenwand angebracht, in dessen 2. Brennlinie der Rubinkristall angeordnet ist (Abb. *1*). Die plangeschliffenen Stirnflächen des Rubinkristalls tragen spiegelnde Beläge, von denen einer in einer Richtung durchlässig (halbdurchlässig) ist. Kristall und Spiegel sind einem Höchstfrequenzresonator vergleichbar. Wird durch einen Pumpimpuls induzierte Emission ausgelöst, so werden diejenigen Lichtwellen, die parallel zur Längsachse des Kristalls laufen, zwischen

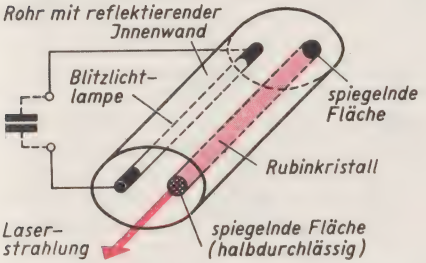


Abb. *1*: Rubin- (Festkörper-) Laser

dessen Stirnwänden mehrfach hin- und herreflektiert. Sie lösen weitere Lichtwellen aus, und dadurch wächst die Emission lawinenartig, solange die gepumpten Elektronen „ausreichen". Die ausgelösten Wellen haben gleiche Frequenz und Phase und verlassen teilweise den Rubinkristall in Richtung seiner Längsachse durch den halbdurchlässigen Belag als nahezu monochromatisches, kohärentes Lichtbündel großer Schärfe im roten Teil des Spektrums. Rubin- (Festkörper-)L. werden vor allem als Impuls-L., seltener als Dauerstrich-L. eingesetzt. Die Leistung des ausgestrahlten Lichts erreicht > 10 kW. Durch bes. Kunstgriffe, wie sog. „Güteschaltung", ein kurzzeitiges „Stauen" der Elektronen auf dem energiereicheren Niveau, kann diese Leistung in extrem kurzen Impulsen noch um einen Faktor von $> 10^5$ erhöht werden (sog. *Riesenimpuls-L.*). Andere Werkstoffe für Festkörper-L. sind z. B. Kalziumfluorid und -wolframat, Glas mit Neodym-Dotierung oder Aluminium-Yttrium-Ver-

bindungen mit Neodym-Dotierung, wobei die ausgestrahlte Frequenz von der L.substanz und vom Dotierungsstoff abhängt.

2. Im *Halbleiter-L.*, der im prinzipiellen Aufbau einer Halbleiterdiode (vgl. Diode 2.) ähnelt und deshalb auch als *L.diode* bez. wird, sind Rekombinationsvorgänge an *pn*-Übergängen Ausgang der L.strahlung. Wird ein solcher Übergang durch eine Gleichspannung bei großer Stromdichte in Durchlaßrichtung betrieben, so werden zahlreiche Elektronen und Defektelektronen in die *pn*-Schicht injiziert (*Injektions-L.*). Bei entspr. Werkstoffauswahl (z. B. Galliumarsenid, Indiumphosphid, -antimonid) wird durch ihre Rekombination Energie als Strahlung im IR-Teil des Spektrums frei. Diese Strahlung pflanzt sich vorwiegend längs des *pn*-Übergangs fort und wird von spiegelnden Flächen (Abb. 2) hin- und herreflektiert. Dabei kommt es zu dem lawinenartigen Anwachsen der Strahlung, die schließlich in Form kohärenter Wellenzüge parallel zum *pn*-Übergang ins Freie tritt. Halbleiter-L. zeichnen sich durch geringe Abmessungen (Kantenlänge des Kristalls < 1 mm), einfachen Aufbau und einfache Zuführung der Pumpenergie (Gleichstrom!) aus. Sie werden als Impuls- und Dauerstrich-L. betrieben, wobei z. B. im Impulsbetrieb von Galliumarsenid-Halbleiter-L. eine Leistung um 10 W, in Spezialausführungen von > 1 kW erzielt wird. Die hohe Stromdichte bedingt intensive Kühlung des L. Halbleiter-L. für normale Raumtemperatur befinden sich in der Entwicklung.

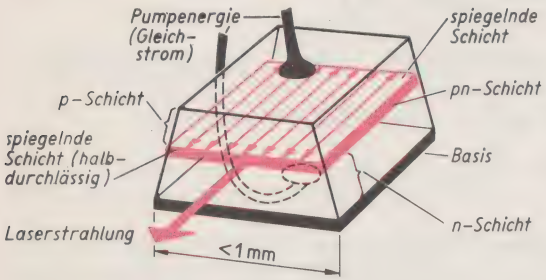


Abb. 2: Halbleiterlaser

3. Der am meisten angewendete *Gas-L.* ist der *Helium-Neon-L.* (Abb. 3). In einem langgestreckten Glasrohr (häufig > 1 m lang) befindet sich unter niederem Druck ein Helium-Neon-Gemisch, dem durch hohe Gleichspannung oder hochfrequente Wechselspannung die zur induzierten Emission nötige Energie zugeführt wird. Die Rohrenden sind durch schräge Brewster-Fenster abgeschlossen, die Licht einer Polarisationsrichtung nahezu verlustfrei durchlassen. In Verlängerung der Röhrenachse und genau senkrecht dazu sind 2 Spiegel, davon einer halbdurchlässig, angebracht, zwischen denen das Licht hin- und herreflektiert wird. Die Emissionsvorgänge verlaufen zwischen 4 Energieniveaus; es können 2 Frequenzen im IR- und eine im roten Teil des Spektrums abgestrahlt

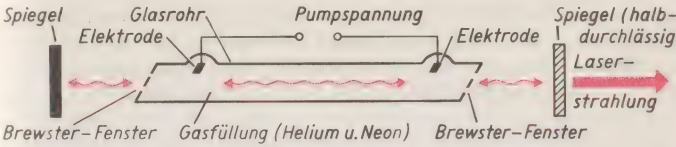


Abb. 3: Helium-Neon-Laser

werden, wobei die Auswahl z. B. mittels der Reflexionseigenschaften der Spiegel geschieht. Die Leistung des Helium-Neon-Gas-L. erreicht > 1 W. Andere Gas-L. arbeiten mit Argon, Krypton, Stickstoff oder Kohlendioxid (Ausgangsleistungen bis > 50 kW), und zwar ebenso wie die Helium-Neon-L. als Dauerstrich-L. Die Frequenz ihres Lichts liegt, je nach der L.substanz, im grünen, blauen oder UV-Teil des Spektrums.

4. *Flüssigkeits-L.* befinden sich gegenwärtig noch im Zustand der Erforschung und Erprobung.

Gegenüber natürlichen und technischen Lichtquellen zeichnet sich der L. dadurch aus, daß er monochromatisches, kohärentes Licht ausstrahlt, das sich unter Zuhilfenahme von Spiegeln, Linsen u. a. zu nahezu parallelen Strahlen oder auch auf engstem Raum konzentrieren läßt (Öffnungswinkel bis < 1″, Leuchtfleckdurchmesser bis herab zu 1 μm). Dadurch ist an der Auftreffstelle eines L.strahls eine Leistungsdichte bis $> 5 \cdot 10^{14}$ W/cm^2 möglich. Diese Eigenschaften eröffnen dem L. eine rasch wachsende Zahl von Anwendungen. Alle lichtabsorbierenden Stoffe können durch fokussiertes L.licht geschmolzen und verdampft werden, wobei die thermische Belastung der Umgebung der nahezu punktförmigen ,,Brennstelle'' gering bleibt. Daraus folgt der Einsatz des L. zum Präzisionsbohren (auch kleinster Löcher) und -schneiden, zum Verschweißen dünnster Drähte, bei der Maskenherstellung und dem Bauelementeabgleich in der ↑ Halbleitertechnologie usw. In der Medizin wird der L. u. a. eingesetzt, um die abgelöste Netzhaut wieder ,,anzuschweißen'' und um kariöse Zahnstellen zu zerstören. Möglichkeiten zur Zerstörung von Zellgewebe (Geschwulsttherapie) sind Untersuchungsgegenstand. In der Vermessungstechnik und bei der Ausführung von Großbauten (Tunnel, Brücken, Fernsehtürme) ermöglicht der L.strahl als ,,Bezugsgerade'' eine hohe Genauigkeit; auch *L.-Höhenmesser* für Flugzeuge wurden entwickelt. Allerdings können L. im Freien nur bei guter Sicht eingesetzt werden (bis etwa 20 km mit ± 1 cm Genauigkeit), da ihr Licht in der Atmosphäre mehr oder weniger stark gedämpft und gestreut wird. Mittels des Doppler-Effekts ermöglicht der L. genaueste Geschwindigkeits- (z. B. von Wind) und Beschleunigungsmessungen. In Laboratorien dient er u. a. Aufgaben der Mikroskopie (*L.mikroskop*), der Spektroskopie, Arbeiten auf dem Gebiet der Holographie, zur Einleitung fotochemischer Reaktionen u. a.

Die Eignung des L. zur Nachrichtenübertragung ist Gegenstand zahlreicher Arbeiten und Versuche. Dem Vorteil der sehr hohen Trägerfre-

quenz, mit deren Hilfe sehr breitbandige Nachrichtenübertragungen möglich wären (z. B. sind prinzipiell etwa 10^9 Telefongespräche in einem L.-strahl unterzubringen), steht die Dämpfung in der Atmosphäre entgegen. L. sind daher zunächst nur für Nachrichtenverbindungen über geringe Entfernungen und solche im Weltraum geeignet. Ihr Einsatz für Verbindungen auf der Erde wird aber bereits eingehend, bes. in der UdSSR (z. B. optisches oder *L.telefon* für bis zu 24 Gespräche gleichzeitig über einige Kilometer Entfernung), erprobt (vgl. Glasfasernachrichtenübertragung). Auch Versuche mit einem L.-Radar [*Lidar* oder *Colidar*, Abk. von engl. (*Co*herent) *Li*ght *D*etection and *R*anging, etwa Entdecken und Orten mit (kohärentem) Licht] verliefen erfolgreich. L.-Radargeräte überbrücken bei Tageslicht bis 20 km Entfernung und zeichnen sich trotz sehr kleiner „Antennen" durch ein dem normalen Radar weit überlegenes Auflösungsvermögen aus; Objekte von wenigen Metern seitlichem Abstand sind auf 10 km Entfernung zu unterscheiden. Die Entfernung Erde-Mond wurde mittels L.-Radar zunächst ohne, später mit Hilfe auf der Mondoberfläche aufgestellter (von den Besatzungen der „Apollo"-Landefähren) bzw. bewegter L.reflektoren (franz. Reflektor auf dem sowjetischen Mondfahrzeug „Lunochod 1") genauestens vermessen. Erfolgreich war auch der Einsatz von L.-Radargeräten zur Ortung von Raumflugkörpern. Weitere Anwendungsmöglichkeiten sind die Überwachung der Luftverunreinigung, die Wolken-Höhenmessung, die optische Datenspeicherung, die ↑ Bildplatte u. a.

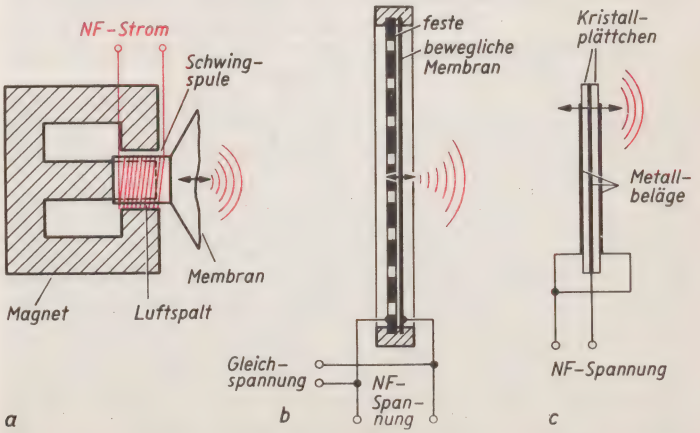
Eine Weiterentwicklung ist der Licht im IR-Bereich von 16 bis 66 μm liefernde sog. *Raman-L.*, der außer einem 3-MW-Rubin-L. einen kleinen 1,5 cm langen Lithiumniobat-Kristall von extremer Reinheit enthält und durch dessen Drehung die Wellenlänge verkürzt (Verschiebung nach Blau – Energieerhöhung) oder verlängert werden kann (Verschiebung nach Rot – Energieverminderung). Diese Geräteart nutzt außer den L.-Effekt auch den Smekal-Raman-Effekt aus.

Geschichtliches. Die theoretischen Grundlagen des L.prinzips wurden von den sowjetischen Physikern *Nikolai G. Bassow* und *Alexander M. Prochorow* sowie von dem amerikanischen Physiker *Charles Hard Townes* geschaffen, indem sie versuchten, die Maser-Technik im sichtbaren Bereich des Spektrums anzuwenden. Nachdem schon 1959 *Javan* den Bau eines Gas-L. empfahl, wurde 1960 der erste Rubin-L. von dem amerikanischen Physiker *Theodor H. Maiman* und dann 1961 der erste Gas-L. (Helium-Neon) entwickelt; auf den Markt kamen beide Typen 1961 bzw. 1962. Der Raman-L. ist eine Entwicklung amerikanischer Physiker der Stanford University (Cal.).

Laufzeitketten ↑ Verzögerungsleitung.

Laufzeitröhre: Elektronenröhre zur Verstärkung und Schwingungserzeugung im Höchstfrequenzbereich auf der Grundlage der in diesem Frequenzgebiet nicht mehr vernachlässigbaren Elektronenlaufzeit. Allen L. ist gemeinsam, daß nicht (wie bei Gittersteuerung) unmittelbar die Dichte des Elektronenstroms, sondern durch elektromagnetische Felder die

Elektronengeschwindigkeit gesteuert wird (Geschwindigkeitssteuerung. vgl. Elektronenröhre). Gegenwärtig sind 2 Gruppen von L. gebräuchlich: In *Triftröhren* (z. B. ↑ Klystron, Reflexklystron) tritt der Elektronenstrahl mit ortsfesten, hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in Wechselwirkung.
Die Funktion der *Lauffeldröhren* (z. B. ↑ Wanderfeldröhre, ↑ Rückwärtswellenröhre, ↑ Magnetron) beruht auf dem Energieaustausch zwischen fortschreitenden hochfrequenten elektromagnetischen Feldern und einem Elektronenstrahl. Die älteste L., die *Bremsfeldröhre*, wird heute nicht mehr benutzt.
L. haben größte Bedeutung für die Höchstfrequenztechnik. Sie werden in der Richtfunk- und Radartechnik, in Fernsehsendern, für Nachrichtenweitverbindungen mit Raumfahrzeugen und über Satelliten, für Empfangsanlagen der Radioastronomie, für die Mikrowellenspektroskopie, für Teilchenbeschleuniger in Kernforschungsstätten sowie in Industrie-HF-Generatoren eingesetzt. Je nach Typ und Ausführung liegt ihre Arbeitsfrequenz zwischen einigen Millimetern und einigen Dezimetern Wellenlänge, ihre Leistung zwischen Milliwatt und (bei Impulsbetrieb) mehreren 10 MW.
Lautsprecher: Schallwandler zur Rückwandlung niederfrequenter (tonfrequenter) Wechselströme bzw. -spannungen in Schallschwingungen. Am verbreitetsten ist der *elektrodynamische L.* Eine konusförmige oder konusförmig-ovale Membran aus Spezialpapier ist am Rand der Gehäuseöffnung so befestigt, daß sie in Richtung der Konusachse schwingen kann. Das hintere Konusende trägt eine leichte *Schwingspule*, die in den ringförmigen Luftspalt eines topf- oder bügelförmigen Magneten (gegen-



Funktionsprinzipien des elektrodynamischen (a), elektrostatischen (b) und piezoelektrischen Lautsprechers (c)

wärtig Dauermagnet, früher Elektromagnet) taucht. Wird die Schwingspule von NF-Strom durchflossen, so führt sie aufgrund der im Magnetfeld auf stromdurchflossene Leiter wirkenden Kräfte Schwingungen im Tonfrequenzrhythmus aus und bewegt dabei die Membran mit, die ihrerseits Schallwellen in der Luft erregt. Wegen des geringen Wechselstromwiderstands der Schwingspule wird zur Anpassung zwischen diese und die Wechselstromquelle meist ein Ausgangs-↑ Transformator geschaltet.

Der *elektrostatische L.* beruht auf den zwischen den Belägen eines mit einer Spannungsquelle verbundenen Kondensators auftretenden mechanischen Kräften. 2 leitende Membranen, eine feste und eine bewegliche, stehen einander in sehr geringem Abstand, aber voneinander isoliert gegenüber. Legt man an die Membranen eine Gleichspannung (mindestens einige 100 V) und die NF-Spannung, so schwingt die bewegliche Membran im Tonfrequenzrhythmus.

Der *piezoelektrische L.* nutzt den umgekehrten ↑ piezoelektrischen Effekt; 2 aus Seignettesalz bestehende, auf ihren Außenseiten metallisierte Plättchen werden so übereinandergelegt und miteinander verkittet, daß sie sich bei Anlegen der NF-Spannung an die Metallbeläge durchbiegen und dabei eine mit ihnen verbundene Membran in Schwingungen versetzen.

Der *Druckkammer-L.* hat einen etwa 10fach höheren Wirkungsgrad (≈ 30 %) als die bisher genannten L. Seine Membran schließt einen kleinen, abgeschlossenen Luftraum, die Druckkammer, an einer Stirnseite, die gegenüberliegende Stirnwand der Druckkammer hat eine Öffnung. Diese Öffnung erregt in einem trichterförmigen Ansatz von oft erheblichen Abmessungen Schallwellen, die gerichtet abgestrahlt werden. Der Druckkammer-L. strahlt tiefe Frequenzen nur ungenügend ab und ist daher vorwiegend für Sprachwiedergabe, z. B. als Kommando-L. im Freien oder in lärmerfüllten Räumen, geeignet.

Das *Ionophon* u. ä. L. stellen Versuche dar, ohne mechanisch schwingende Membran auszukommen und statt dessen eine Plasmasäule zum Erregen der Schallschwingungen auszunutzen, erlangten bisher aber wenig Bedeutung.

Kein L. gibt sämtliche für die Tonwiedergabe wichtigen Frequenzen (etwa 30 bis 15 000 Hz) gleichmäßig gut wieder. Insbes. stört die Resonanzfrequenz der L.membran (je nach Konstruktion des L. zwischen einigen 10 und einigen 100 Hz). Bei gegenüber dieser Frequenz tieferen Frequenzen fällt die Leistung des L. stark ab. Man ist daher bestrebt, eine möglichst niedrige Resonanzfrequenz zu erreichen. Außerdem macht sich bei tieferen Frequenzen zunehmend der sog. *akustische Kurzschluß* bemerkbar: Zwischen Vorder- und Hinterseite der Membran kommt es, bes. bei langen Schallwellen (bei 50 Hz z. B. >6 m) zu einem teilweisen leistungsmindernden Druckausgleich. Man beseitigt ihn durch Einbau des L. in eine *Schallwand*, die den Weg zwischen Vorder- und Hinterseite der Membran verlängert, bzw. Einbau in eine Box (vgl. Baßreflexgehäuse).

Verbreitet ist die gleichzeitige Abstrahlung über mehrere L., die jeweils für einen bestimmten Teil des Tonfrequenzspektrums optimal bemessen sind. Hierbei dient ein elektrodynamischer L. mit großem Konus und sehr niedriger Resonanzfrequenz als *Tiefton-L.*, während ein oder mehrere – meist piezoelektrische oder elektrostatische – L. kleinen Membrandurchmessers als *Hochton-L.* die hohen Frequenzen ausstrahlen. Mitunter ist ein weiterer L. für die Mittellage vorhanden. Die Speisung der L. geschieht über Filteranordnungen, die das jeweilige Frequenzband bevorzugt passieren lassen. Für Übertragungen im Freien oder in sehr großen Räumen werden L.gruppen, bestehend aus mehreren in einer Linie angeordneten Einzel-L. eingesetzt, die z. B. in einer *Tonsäule* zusammengefaßt sind. Durch diese Anordnung läßt sich eine Schallbündelung in bestimmter Richtung (z. B. längs eines Bahnsteigs oder einer Straße) erreichen.

Lautstärkeregelung: gebräuchliche, nach moderner Terminologie jedoch nicht exakte Bez. für eine Schaltung zum Einstellen der Wiedergabelautstärke elektroakustischer Geräte (Verstärkeranlagen, Magnettongeräte, Rundfunkempfänger u. a.). Zur L. wird meist ein Teil der am Eingang eines Verstärkers oder hinter einer Verstärkerstufe verfügbaren NF-Spannung U mit einem veränderbaren Widerstand R (Abb. *1*) ab-

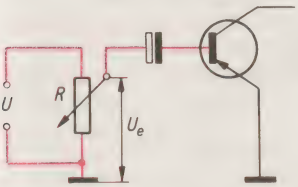


Abb. *1*: Lautstärkeregelung

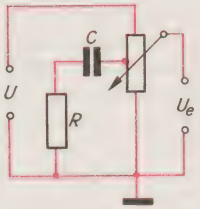


Abb. *2*: Gehörrichtige Lautstärkeregelung

gegriffen und als Eingangsspannung U_e der folgenden Verstärkerstufe zugeführt. L. erfolgt i. allg. nahe dem Verstärkereingang, um Übersteuerung und damit Verzerrungen durch zu hohe Spannung vor dem Lautstärkeregler zu vermeiden. Dieser befindet sich z. B. in Rundfunkempfängern unmittelbar hinter dem Demodulator, wobei der Übersteuerung der vorangehenden HF-Verstärkerstufen durch die Schwundregelung entgegengewirkt wird. Um die logarithmische Abhängigkeit der vom Ohr empfundenen Lautstärke vom Schalldruck auszugleichen, d. h. eine dem Drehwinkel des Lautstärkereglers annähernd proportionale Änderung der Lautstärkeempfindung zu erreichen, verwendet man Dreh- oder Schieberegler, bei denen abgegriffener Widerstand und Weg in logarithmischem bzw. in exponentiellem Zusammenhang stehen. Die *gehörrichtige L.* kompensiert die bei geringer Lautstärke störende niedrige Ohrempfindlichkeit gegenüber tiefen Frequenzen. Der Lautstärkeregler wird teilweise über ein an einem Abgriff angeschlossenes Widerstand-

Kondensator-Glied (*R-C*, Abb. 2) überbrückt. Steht die Kontaktzunge des Reglers nahe diesem Abgriff oder „darunter", so werden die Wechselspannungen mittlerer und hoher Frequenz stärker abgeleitet als tiefe, d. h. die tiefen Frequenzen scheinbar bevorzugt.
In Empfängern für Funkdienste wird (bei abgeschalteter Schwundregelung) mitunter auch eine L. in der ersten HF-Verstärkerstufe vorgenommen. *Automatische L.* ist ein oft gebrauchter Ausdruck für ↑ Schwundregelung.
Lebensdauer ↑ Ausfallrate.
LED ↑ Diode 2.
Legierungstechnik ↑ Halbleitertechnologie.
Leiterplatte ↑ gedruckte Schaltung.
Leitstrahl ↑ Funkfeuer.
Leitstrahllenkung ↑ Fernlenkung.
Leitungsband ↑ Bändermodell.
Leitungskreis: Schwingungskreis hoher Güte insbes. für den dm-Wellenbereich, beruhend auf Resonanzerscheinungen von Stücken einer Doppelleitung (Parallelleitung oder Koaxialkabel) gegenüber HF-Strömen und -Spannungen. Für HF-Schwingungen der Wellenlänge λ verhält sich ein $\lambda/4$ (bzw. $3/4\,\lambda$, $5/4\,\lambda$ ...) langes Leitungsstück wie ein Parallelschwingungskreis, wenn es an einem Ende kurzgeschlossen wird, bzw. wie ein Reihenschwingungskreis, wenn dieses Ende „offen" bleibt, d. h. die Leiter nicht verbunden werden. Umgekehrt stellt ein $\lambda/2$ (bzw. λ, $3/2\,\lambda$, $5/2\,\lambda$...) langes Leitungsstück für Schwingungen der Wellenlänge λ bei kurzgeschlossenem Ende einen Reihenschwingungskreis, bei offenem Ende einen Parallelschwingungskreis dar. Die Abstimmung erfolgt bei geschlossenem Ende z. B. durch einen Kurzschlußschieber oder durch einen Drehkondensator geringer Kapazität. L. werden in Funk- und Radargeräten sowie in ↑ Kanalwählern für den UHF-Bereich eingesetzt.
Leuchtdichtesignal ↑ Fernsehen 2.
Leuchtpunktunterdrückung ↑ Fernsehempfänger.
Leuchtschirm und **-stoff** ↑ Bildschirm.
LF ↑ Frequenzbereiche.
lichtelektrischer Effekt, *Fotoeffekt*: durch elektromagnetische Strahlung, insbes. durch sichtbares, infrarotes oder ultraviolettes Licht verursachte Ablösung von sog. *Fotoelektronen* aus der Oberfläche von Stoffen oder von Atomen im Innern von Stoffen. *Äußerer l. E.*: Werden Stoffoberflächen, insbes. Metallflächen, bestrahlt, so können aus ihnen durch Absorption der Energie einfallender Lichtquanten Elektronen emittiert werden, deren Anzahl der Beleuchtungsstärke proportional ist. Die kinetische Energie des Fotoelektrons ist gleich der Differenz zwischen der Energie $h\nu$ (h Planckscher Wirkungsquantum, ν Frequenz) des auslösenden Quants und der ↑ Austrittsarbeit des bestrahlten Materials. Austrittsenergie und -geschwindigkeit sind damit frequenzabhängig. Es ist eine Grenzfrequenz (bzw. -wellenlänge) angebbar, unterhalb (bzw. oberhalb) der keine Emission erfolgen kann. Für Stoffe niedriger Austritts-

arbeit (z. B. Zäsium, Kalium) liegt die Grenzfrequenz im sichtbaren Teil des Spektrums. Der äußere l. E. wird in Fotozellen, Sekundärelektronenvervielfachern und in den meisten Bildaufnahmeröhren technisch genutzt.

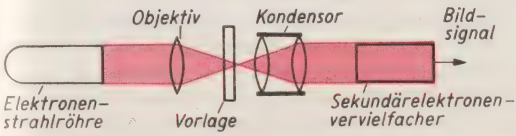
Innerer l. E.: Bei Bestrahlung halbleitender Stoffe erhöht sich deren Leitfähigkeit, bewirkt durch Lichtquanten, deren Energie hinreicht, je ein oder mehrere Elektronen in das Leitungsband zu heben (vgl. Bändermodell), wodurch Ladungsträgerpaare (Elektronen und Defektelektronen) gebildet werden. Stoffe mit ausgeprägtem innerem l. E. sind z. B. manche Kadmium- und Bleiverbindungen, aber auch Germanium, Silizium u. a. Der innere l. E. wird in Fotowiderständen, -elementen und manchen Bildaufnahmeröhren genutzt. Er kann unbeabsichtigt und störend in Erscheinung treten, wenn Halbleiter hellem Licht ausgesetzt sind.

Einen Strom, der z. B. durch eine Fotozelle, mit Hilfe des äußeren oder inneren l. E. hervorgerufen wird, bez. man als *Fotostrom*.

lichtelektrischer Empfänger: optisch-elektrischer Wandler, der Licht im sichtbaren sowie in den angrenzenden UV- und IR-Bereichen intensitätsabhängig in elektrische Signale (Spannung, Stromänderungen) umsetzt. Zu den l. E. zählen z. B. Fotodioden und -transistoren, Fotozellen und -widerstände sowie Fotoelemente und Sekundärelektronenvervielfacher.

Lichtleiter, *Lichtleitkabel*: aus Glas- oder Plastfäden bestehende kabelähnliche Anordnung (Durchmesser z. B. 2,5 mm), in der über Entfernungen bis max. einige Meter Lichtenergie durch wiederholte Totalreflexion auch auf gekrümmten Wegen transportiert werden kann (vgl. Glasfasernachrichtenübertragung). L. finden u. a. Anwendung in der ↑ Optoelektronik zur optischen Kopplung von Bauelementen, zur punktförmigen Beleuchtung von Skalenmarken, als Lichtquellen in Lochkartenlesern, als punktförmige Lichtquellen in der Medizintechnik.

Lichtpunktabtaster: Einrichtung zum Abtasten durchsichtiger (z. B. Diapositive, *Diaabtaster*) oder undurchsichtiger Bildvorlagen und zu deren Wiedergabe in Fernsehsendungen. Auf dem Bildschirm einer Elektronenstrahlröhre wird, der Fernsehnorm entspr., ein sehr heller Zeilenraster geschrieben und durch ein Objektiv auf die Vorlage projiziert. Das von dieser hindurchgelassene oder (bei undurchsichtigen Vorlagen) reflektierte Licht steuert Fotozellen oder einen Sekundärelektronenvervielfacher zur Gewinnung des Bildsignals. Da das Nachleuchten des Bildschirms Unschärfe verursachen würde, wählt man für ihn Leuchtstoffe möglichst kurzer Nachleuchtdauer und baut eine Kompensationsschaltung ein. Auch ↑ Filmabtaster arbeiten oft nach dem Prinzip des L.

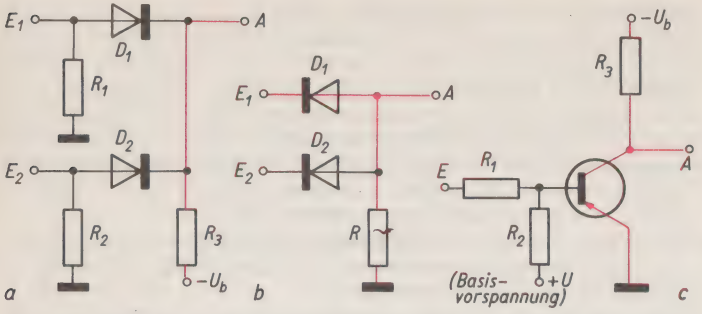


Lichtpunktabtaster

Lichtschranke: fotoelektronische Einrichtung zum Auslösen von Warn-, Zähl-, Kontroll- oder Steuergeräten durch Unterbrechen oder Freigeben eines Lichtstrahls. Z. B. kann der Benutzer selbst eine Fahrtreppe einschalten, indem er einen auf eine ↑ Fotozelle (auch ↑ Fotowiderstand, -diode, -transistor oder -thyristor) gerichteten Lichtstrahl unterbricht; die dadurch hervorgerufene Stromänderung läßt über einen elektronischen Verstärker- und Steuerteil die Fahrtreppe anlaufen. Das Ausschalten beim Verlassen, ebenfalls durch eine L., erfolgt nur, wenn dem Steuerteil nicht inzwischen ein neuer Benutzer signalisiert wurde.
Das gleiche Prinzip wird angewendet, um Produkte auf Stetigförderern zu zählen, um Abfüllvorrichtungen zu steuern (z. B. beim Verpacken von Zigaretten oder Tabletten), Erzeugnisse zu kontrollieren (z. B. richtige Stellung des Aufdrucks auf Packpapier) oder um den Antrieb von Maschinen zu blockieren, solange sich Menschen oder deren Körperteile in gefährlicher Nähe befinden. L. arbeiten mit sichtbarem oder IR-Licht.
Lichtsprechgerät, *Lichttelefon*: meist transportable Anlage zur drahtlosen Verständigung über kurze Entfernung mit Hilfe sichtbaren oder IR-Lichts. Im Sender wird das Licht z. B. einer Glüh-, Glimmlampe, Leucht- oder Laserdiode mit den in elektrische Signale umgewandelten und verstärkten Schallschwingungen in seiner Intensität moduliert, durch Linsen oder einen Paraboloidreflektor gebündelt und zum Empfänger gerichtet. Im Brennpunkt seiner Linsenanordnung bzw. seines Paraboloidreflektors ist ein lichtempfindliches Bauelement (z. B. Fotodiode, -transistor) angebracht, das die Modulation wieder in elektrische Signale umsetzt. Diese werden verstärkt und in Schallschwingungen zurückverwandelt. Die Anwendung des L. setzt optische Sicht zwischen Sender und Empfänger voraus. Die Reichweite beträgt wenige Kilometer und hängt von der Durchsichtigkeit der Atmosphäre ab; jedoch ist aufgrund der kurzen Wellenlängen bei geringem Aufwand eine hohe Bündelungsschärfe zu erreichen, die die Geheimhaltung des Verkehrs erleichtert. L. werden daher im militärischen Bereich, ferner für Spezialaufgaben, z. B. Überbrückung von Wasserläufen, eingesetzt.
Lichtstift ↑ Datensichtgerät.
Lichtzeigerlot ↑ Ultraschallortung.
Litze ↑ Skin-Effekt.
Loch ↑ Halbleiter.
Lochmaskenröhre ↑ Bildröhre.
Lochschreiber und **-streifensender** ↑ Funktelegrafie.
Logatom *n*: Bez. für einsilbiges, künstlich gebildetes Wort ohne Sinn, z. B. ,,gams", ,,kok", das zur Beurteilung der Verständlichkeit bei Sprachübertragungen dient. Gesprochene Sätze sind dafür wenig geeignet, da ihr Sinn teilweise erraten wird. Eine Gruppe zusammenhangloser L. dagegen ermöglicht eine annähernd objektive Beurteilung der Silbenverständlichkeit. Als Maß für letztere gilt der Prozentsatz der von einer Hörergruppe phonetisch richtig niedergeschriebenen L.
Logiksystem: System ↑ logischer Grundschaltungen zum Aufbau digital

arbeitender Geräte, deren einzelne Glieder in ihrer Funktion, den elektrischen Parametern (z. B. Betriebsspannung, positive oder negative Logik, Möglichkeit des Zusammenschaltens ohne Anpaßglieder) und den konstruktiven Merkmalen (z. B. Abmessungen, Anschluß- und Einbaumöglichkeiten) so aufeinander abgestimmt sind, daß sich mit ihnen eine große Anzahl elektronischer Schaltungen zusammenstellen läßt. Man kennzeichnet ein L. durch seine charakteristischen Bauelemente oder Schaltprinzipien. Bes. Verbreitung haben gegenwärtig z. B. nachstehende, auch in Varianten weiterentwickelte L.:
RTL [Abk. von engl. *R*esistor *T*ransistor *L*ogic]: Es werden nur Widerstände und Transistoren verwendet; Ausführung häufig in Dünnschichttechnik mit zugesetzten Transistoren;
TTL [Abk. von engl. *T*ransistor *T*ransistor *L*ogic]: L. in Halbleiterblocktechnik, das neben normalen Transistoren Spezialausführungen mit mehreren Emittern und (wenigen) Widerständen enthält;
DTL [Abk. von engl. *D*iode *T*ransistor *L*ogic] und *DTLZ* [Abk. von engl. *D*iode *T*ransistor *L*ogic with *Z*-Diodes]: L. mit Dioden, Transistoren und (DTLZ) Z-Dioden;
ECL [Abk. von engl. *E*mitter *C*oupled *L*ogic]: Emittergekoppelte Logik, L. mit Transistoren, deren Emitter i. allg. miteinander verbunden werden, mit Widerständen und Dioden;
MOS [Abk. von engl. *M*etal *O*xide *S*emiconductor]: L. auf der Grundlage von MOSFET (vgl. Transistor 2.2.) und Widerständen;
CMOS [Abk. von engl. von *C*omplementary *MOS*]: L., dessen „Elemente" komplementär zusammenwirkende (vgl. Transistor 1.2.) MOSFET sind.

logische Grundschaltungen: binäre Schaltanordnungen zur technischen Realisierung von Beziehungen und Verknüpfungen der ↑ Schalt(ungs)algebra. L. G. unterscheiden die durch Spannungen dargestellten Signale „L" und „H" und werden aus Schaltern, Relais, Elektronenröhren, Gasentladungsröhren, vor allem aber aus Halbleiterbauelementen, meist zusammen mit anderen Bauelementen als integrierte Schaltungen, aufgebaut. Bei der verbreiteten Ausführung mit Halbleiterbauelementen entspricht die Spannung 0 V oder nahe 0 V dem Signal „L", eine Spannung von U z. B. 12 V gegen Masse (Erde) dem Signal „H". Je nachdem, ob diese Spannung gegen Masse negativ oder positiv ist, spricht man von *negativer* oder *positiver Logik*. Bei Verwendung von Ge-Transistoren mit *pnp*-Zonenfolge und MOS-Schaltkreisen mit Feldeffekttransistoren vom *p*-Kanal-Anreicherungstyp wird negative Logik, bei Verwendung von Si-Planartransistoren mit *npn*-Zonenfolge und bipolaren digitalen Schaltkreisen positive Logik bevorzugt. Es gibt 3 Elementarschaltungen, die nachstehend in negativer Logik dargestellt sind:
1. Das *UND*-Glied, die *Konjunktion*, verknüpft 2 oder mehr Eingänge E_1, E_2 ... so mit dem Ausgang A, daß an diesem nur dann ein Signal „H" auftritt, wenn „H" gleichzeitig an allen Eingängen liegt. In Abb. *a* fließt im signallosen Zustand über den Widerstand R_3, über die Dioden D_1 und



Logische Grundschaltungen: Elementarschaltungen UND (a), ODER (*b*) und NICHT (*c*)

D_2 und die Widerstände R_1 und R_2 Strom. Da R_1 und R_2 klein gegenüber R_3 sind, tritt an diesem ein großer Spannungsabfall und dadurch zwischen A und Masse nur eine sehr geringe Spannung auf, der das Signal „L" entspricht. Daran ändert sich auch nichts, wenn durch ein Signal „H" an E_1 oder E_2 eine Diode gesperrt wird. Erst bei Sperrung beider Dioden („H" an E_1 und E_2) wird der Strom unterbrochen, der Spannungsabfall an R_3 verschwindet, A zeigt die Spannung $-U_b$ gegen Masse und damit das Signal „H".

2. Beim *ODER*-Glied, der *Disjunktion*, erscheint dann ein Signal „H" am Ausgang A, wenn „H" an einem o d e r an beiden Eingängen E_1 und E_2 auftritt. In Abb. *b* liegt „H" am Eingang E_1, es fließt Strom über den Widerstand R und die Diode D_1. Da diese in Durchlaßrichtung geschaltet ist, bleibt der Spannungsabfall an ihr sehr gering, das Signal „H" erreicht den Ausgang A. Für „H" an E_2 und für „H" an E_1 ergeben sich gleiche Verhältnisse. Liegen Signale „L" an E_1 und E_2, so fließt kein Strom, und an A erscheint ebenfalls das Signal „L".

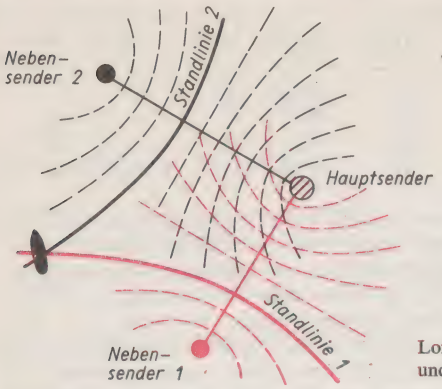
3. Das *NICHT*-Glied, die *Negation*, verwandelt ein Eingangssignal „L" in das Ausgangssignal „H" und umgekehrt. In Abb. *c* erhält der Transistor, solange am Eingang E das Signal „L" liegt, über den aus den Widerständen R_1/R_2 gebildeten Spannungsteiler eine positive Basisvorspannung, die ihn sperrt. Infolgedessen erscheint am Ausgang A, da kein wesentlicher Spannungsabfall an R_3 auftritt, das Signal „H". Liegt „H" am Eingang E, so fließt Strom über die Emitter-Kollektor-Strecke, und die Spannung zwischen A und Masse sinkt so, daß in A das Signal „L" erscheint.

Die folgende Tabelle, in der die Verknüpfungen zwischen Eingangs- und Ausgangssignalen dargestellt sind, und die Abb. auf der hinteren Innenseite des Einbands enthalten neben den Elementarschaltungen UND und ODER – das NICHT-Glied verknüpft keine Eingangssignale – häufig benutzte Kombinationen der Elementarschaltungen.

Eingänge E_1	E_2	Ausgänge UND	ODER	NAND	NOR	Äquiv.	Antiv.
L	L	L	L	H	H	H	L
L	H	L	H	H	L	L	H
H	L	L	H	H	L	L	H
H	H	H	H	L	L	H	L

Die *NAND-Schaltung* [von engl. NOT-AND, nicht-und] ist ein UND-Glied, dessen Ausgangssignal negiert wird, die *NOR-Schaltung* [von engl. NOT-OR, nicht-oder] ein ODER-Glied mit negiertem Ausgangssignal. Die *Äquivalenzschaltung* liefert immer dann ein Ausgangssignal „H", wenn an beiden Eingängen gleiche Signale auftreten (also auch „L" + „L"), während die *Antivalenzschaltung* das Ausgangssignal „H" abgibt, wenn an beiden Eingängen verschiedene Signale auftreten. Um die mit Halbleiterbauelementen ausgeführten l. G. vielseitig einsetzen und kombinieren zu können, werden sie als aufeinander abgestimmte ↑ Logiksysteme produziert.

Loran-Verfahren [Kurzform von engl. *Lo*ng *Ra*nge *N*avigation, Weitstreckennavigation]: Funkortungssystem der See- und Luftfahrt für große Entfernung (unter günstigen Bedingungen bis > 4000 km). Standlinien des L. sind Hyperbeln, die sich als Linien gleicher Laufzeitdifferenz der von 2 Sendern ausgestrahlten Funkimpulse ergeben. Die zu verschiedenen, abgestuften Laufzeitunterschieden gehörenden Hyperbeln sind in spezielle Karten eingedruckt. Durch Messen der Laufzeitunterschiede von 2 Senderpaaren ergeben sich 2 Hyperbeln als Standlinien, deren Schnittpunkt der gesuchte Standort ist. Haupt- oder Leitsender und Nebensender eines Paares haben je nach Systemvariante einen Abstand von 300 bis 600 km bzw. von 800 bis 1800 km voneinander. Die Impulse des Hauptsenders steuern den Nebensender und lösen dessen Impulse aus, die dadurch bereits gegenüber denen des Hauptsenders verzögert ausgestrahlt werden. Die Verzögerung wird zusätzlich auf einen bestimmten festen Wert vergrößert. Das erleichtert die Auswertung im Empfänger, ohne etwas an der grundsätzlichen Arbeitsweise des L. zu ändern. Für das *Standard-L.* sind die Sendekanäle 1750, 1850, 1900 und 1950 kHz festgelegt, während die Variante *Loran-C* eine Trägerfrequenz von 100 kHz benutzt. Haupt- und Nebensender benutzen den gleichen Kanal. Eine zusätzliche Unterscheidung der Senderpaare ist durch verschiedene Impulsfolgefrequenzen gegeben. Die Sendeleistung beträgt 100 kW und mehr. Meist ist ein Hauptsender mit 2 oder mehr Nebensendern zu einer Kette verbunden, wobei die Standorte so gewählt werden, daß die vom Hauptsender und jeweils einem Nebensender erzeugten Hyperbeln sich unter großem Winkel schneiden. Der Hauptsender arbeitet mit den Nebensendern auf gleicher Frequenz, steuert sie aber mit verschiedener Impulsfolgefrequenz. Empfänger für die Loran-Frequenz ist ein ↑ Superhet. Sie werden, wie die Impulsfolgefre-



Loran-Kette mit Hauptsender und 2 Nebensendern

quenz des jeweiligen Senderpaares, durch Drucktasten eingestellt. Zur Auswertung dient eine Elektronenstrahlröhre, auf deren Bildschirm 2 waagerechte Leuchtzeilen geschrieben werden. Auf der oberen erscheinen als senkrechte Striche die Impulse des Hauptsenders, auf der unteren die des Nebensenders. Zur Ermittlung des Laufzeitunterschieds werden die senkrechten Auslenkungen, zunächst in Grob-, dann in Feinmessung, zur Deckung gebracht. Das geschieht mittels Skalenscheiben, an denen sofort die „Laufzahlen", d. h. die Bez. der in die Karte eingetragenen Hyperbeln, abgelesen werden können. Zwischenwerte werden interpoliert.

An den Reichweitengrenzen treten, wenn die Bodenwelle benutzt wird, Standortfehler von 3 bis 5 km auf. Sie können sich verdoppeln, wenn mit der Raumwelle gemessen wird. Das L. kann auf nahezu allen Schiffahrtsrouten der nördlichen Erdhalbkugel benutzt werden. Weiterentwicklungen des L. erstrecken sich vor allem auf die Automatisierung der Auswertung (Standortbestimmung dauert 2 bis 3 min). So werden in modernsten Geräteausführungen die Laufzahlen selbsttätig ermittelt und digital angezeigt; Anschlußmöglichkeiten für Kursschreiber sind vorhanden (vgl. Decca-Verfahren).

Löschkopf ↑ Magnetbandgerät.

LSI ↑ Halbleiterblocktechnik.

LUF ↑ Ionosphäre.

Lumineszenzanzeigeeinrichtung: elektronische(r) Baustein bzw. -gruppe zur optischen Anzeige auf der Basis der Elektrolumineszenz. Zu skalenähnlicher, (angenähert) analoger Anzeige (z. B. Aussteuerung von Verstärkern, Behälterfüllstand) dienen Lumineszenzdioden-Zeilen (auch Kreisbögen). Je nach Steuerung wird durch die Länge eines Lichtbandes oder durch einen wandernden Lichtpunkt der erreichte Wert angezeigt. *Anzeigeelemente* für digitale Anzeige (z. B. Kanaleinstellung in Fernsehempfängern, Uhren) enthalten Lumineszenzdioden-Systeme in sol-

cher Anordnung, daß sich durch Ansteuern entspr. Segmente (vgl. Abb. bei Flüssigkristallanzeigeelement) z. B. Ziffern darstellen lassen. Weitgehende Darstellungsmöglichkeiten bieten Halbleiter-Lumineszenztableaus mit einem Punktdioden-Raster einzeln ansteuerbarer Lumineszenzdioden-Systeme in gemeinsamem Substrat. Die genannten L.en sind mechanisch unempfindlich und arbeiten nahezu trägheitslos. Sie werden als Festkörperschaltkreise, häufig zusammen mit Ansteuer- und Speicherschaltungen für die Anzeige, ausgeführt. – Elektro-Lumineszenztableaus enthalten zwischen 2 Elektroden, von denen die dem Betrachter zugewandte transparent und in Segmente bzw. rasterartig geteilt ist, eine lumineszierende Schicht als Dielektrikum. Bei Anlegen einer Wechselspannung (z. B. 250 V/400 Hz) leuchtet das Dielektrikum unter dem angesteuerten Segment bzw. Rasterpunkt.

M

Madistor: diodenähnliches Halbleiterbauelement, meist auf der Basis von Indium-Antimonid, das bei sehr niedrigen Temperaturen (< 100 K) durch schwache Magnetfelder beeinflußbar ist und als magnetisch steuerbarer Schalter eingesetzt wird.

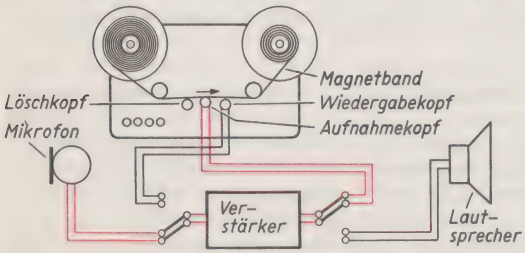
magisches Auge ↑ Abstimmanzeige.

Magnetband: bandförmiges Material zur Speicherung von Informationen durch örtlich unterschiedliche Magnetisierung (↑ Magnetbandgerät), das in Form von Spulen (Bandrollen) bzw. Kassetten oder Endlosschleifen verwendet wird. Man unterscheidet *Audio-* oder *Tonbänder* für Schallaufzeichnung, *Videobänder* für ↑ Fernsehaufzeichnung und *Computerbänder* für EDVA, die heute nahezu ausnahmslos als Schichtbänder, d. h. aus einem Trägermaterial mit aufgebrachter magnetisierbarer Schicht (je nach Bandtyp etwa 3 bis 15 μm dick), hergestellt werden. Die Forderungen nach hoher Zerreißfestigkeit, Schmiegsamkeit sowie Temperatur- und Feuchteunempfindlichkeit des Trägermaterials werden von Polyesterfolie gegenwärtig am besten erfüllt. Magnetisierbares Medium ist γ-Eisen(III)-oxid in Form von Kristallitnadeln von etwa 1 μm Länge oder Chromdioxid. Die Bandbreiten sind international genormt, z. B. 6,25 mm bzw. 3,81 mm für Audiobänder, 25,4 und 50,8 mm für Videobänder sowie 12,7 und 25,4 mm für Computerbänder. Neben den anfangs ausschl. hergestellten *Normalbändern* mit 50 μm Dicke werden gegenwärtig vor allem *Langspielbänder* von 36 μm sowie *Doppel-* (24 μm), *Dreifach-* (18 μm), *Vierfach-* (12 μm) und *Sechsfachspielbänder* (9 μm) verwendet; bei letzteren beträgt also bei gleichem Durchmesser der Bandspulen die Bandlaufzeit ein Mehrfaches. Über Bandgeschwindigkeit ↑ Magnetbandgerät, Speicher.

Außer M. werden z. B. auch perforierte Filme von 17,5 oder 35 mm Breite

(z. B. Magnetfilm für Magnettonfilmverfahren), rechteckige Folien (*Magnetfolie*, mitunter faltbar), Kreisscheiben und beschichtete Trommeln zur magnetischen Speicherung benutzt.

Magnetbandgerät: Einrichtung zum Aufzeichnen, Speichern und zur Wiedergabe von elektrischen Signalen mit Hilfe eines ↑ Magnetbands. Zur Aufzeichnung wird das Magnetband mit konstanter Geschwindigkeit möglichst dicht an einem *Aufnahme-* oder *Aufzeichnungskopf* vorbeigeführt. Dieser enthält z. B. einen ringförmigen Kern aus lamellierten Blechen hoher Permeabilität, der einen wenige Mikrometer breiten, quer zur Bandlaufrichtung liegenden Spalt aufweist und eine Drahtwicklung trägt. Sie wird von den zu speichernden Signalen in Gestalt von Strömen durchflossen, die mit einem *Aufnahmeverstärker*, z. B. aus den Tonfrequenzspannungen eines Mikrofons, gewonnen werden. Am Spalt entsteht ein magnetisches Wechselfeld, welches das Band verschieden stark magnetisiert; diese Magnetisierung bleibt größtenteils erhalten. Zur Wiedergabe wird das Magnetband am Spalt eines ähnlich aufgebauten *Wiedergabekopfes* vorbeigeführt, in dessen Wicklung die den Kern durchsetzenden Feldlinien der magnetisierten Bandstellen eine Spannung induzieren, die ein Abbild der gespeicherten Signale ist. Sie wird dem *Wiedergabeverstärker* zugeleitet, der z. B. einen Lautsprecher speist.



Magnetbandgerät in Aufnahmeschaltung

Bei hohen Frequenzen macht sich ein Absinken der Spannung bemerkbar, hervorgerufen u. a. durch Verluste im Spalt und durch Wirbelströme. Zur Kompensation sind im Aufnahme- und Wiedergabeverstärker Korrekturglieder, z. B. Gegenkopplungszweige, erforderlich. Eine wesentlich bessere Qualität der Aufzeichnung und damit auch der Wiedergabe erreicht man, wenn dem Aufnahmekopf zusätzlich eine von einem ebenfalls im M. enthaltenen Generator erzeugte HF-Spannung (Frequenz etwa 40 bis 120 kHz) zugeführt wird, die das Band vormagnetisiert (*HF-Vormagnetisierung*). Sie wird außerdem einem *Löschkopf* zugeführt, der bei der Aufnahme in Bandlaufrichtung vor dem Aufnahmekopf liegt. Durch das HF-Wechselfeld in seinem Spalt wird eine auf dem Band bereits vorhandene Aufzeichnung gelöscht. Löschen und Aufnahme sind praktisch ohne Qualitätseinbuße beliebig oft wiederholbar, und durch Schnei-

den lassen sich Bandteile trennen, durch Kleben zusammenfügen („Cuttern").

Die technische Ausführung von M.en wird weitgehend von ihrer Bestimmung beeinflußt. So hängt der Frequenzbereich von der Bandgeschwindigkeit ab. Für *Studio-M.* (Rundfunk, Schallplattenaufnahmen, Betriebsfunk, Theater u. a.) wird zum Erzielen höchster Aufnahme- und Wiedergabequalität sowie zum einfacheren „Cuttern" eine hohe Bandgeschwindigkeit gewählt (76,2; 38,1; 19,05 cm/s), wobei eine Störung dann z. B. „länger" als bei niedriger Geschwindigkeit und daher leicht zu entfernen ist. Bei *Heimbandgeräten* wird dagegen vor allem sparsamer Bandverbrauch, d. h. geringe Bandgeschwindigkeit (19,05; 9,5; 4,76; 2,38 cm/s), gewünscht und dafür eine geringfügige Konzession an Aufnahme- und Wiedergabequalität gemacht. Gemeinsam ist allen M.en für Tonaufnahmen ein hoher Bedienungskomfort, in Heimbandgeräten zugleich bei größtmöglicher technischer Vereinfachung; diese weisen fast stets einen gemeinsamen Aufnahme- und Wiedergabekopf (sog. *Kombikopf*) sowie für Aufnahme und Wiedergabe einen umschaltbaren Verstärker auf. Schneller Bandvor- und -rücklauf in Verbindung mit einem Zählwerk ermöglichen es, bestimmte Bandstellen rasch wiederzufinden. Mithörmöglichkeiten und ein Anzeigeinstrument zur Aussteuerungsanzeige erleichtern einwandfreie Aufnahme. Häufig ist eine nach dem Prinzip der ↑ Schwundregelung arbeitende *Aussteuerungsautomatik* vorgesehen, die Übersteuerungen bei zu lauten bzw. Rauschen bei zu leisen Stellen (wechselnder Mikrofonabstand!) ausgleicht. Verschiedene Eingänge, z. B. für Aufnahme und Wiedergabe über Rundfunkempfänger (↑ Diodenanschluß) sowie für Aufnahme über Mikrofon oder von einem Plattenspieler sind vorhanden, ebenso ein selbsttätiger Schalter, der bei Bandende oder -riß den Bandtransport außer Betrieb setzt.

Während Studio-M. i. allg. nur auf einer Spur aufzeichnen, sind Heimbandgeräte durchweg für Doppelspur- und Vierspurbetrieb eingerichtet, d. h., beim Banddurchlauf wird jeweils nur eine Hälfte bzw. ein Viertel der Bandbreite für Aufnahme oder Wiedergabe genutzt, nach Umkehren des Bandes die nächste Hälfte bzw. das nächste Viertel. Die Laufdauer kann dadurch bei gegebener Bandlänge verdoppelt bzw. vervierfacht werden. Für Stereoaufnahmen bzw. -wiedergaben werden die Spuren entspr. eingeschaltet.

Kassetten-M. oder *-Recorder* verwenden Magnetband-Kassetten (i. allg. *Kompakt-Kassetten* mit den international üblichen Abmessungen 100 mm · 64 mm · ≈9 mm), die durch Fingerdruck einrasten. Das 3,81 mm breite Magnetband braucht vor Inbetriebnahme nicht in die Bandführung eingelegt zu werden. Sie bieten gleiche Aufnahme- und Wiedergabemöglichkeiten wie normale Heimbandgeräte, sind im Betrieb vom Lichtnetz unabhängig und zeichnen sich durch geringe Abmessungen und Masse aus. Die Spieldauer beträgt bei Doppelspurbetrieb und 4,76 cm/s Bandgeschwindigkeit z. B. 2×45 min. In den modernen Studio-M.en sowie in Heim-M.en und Kassetten-Recordern werden heute

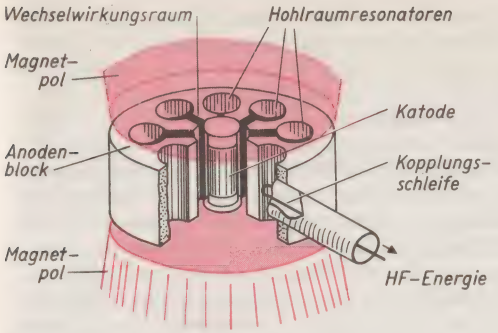
häufig ↑ Dolby-Systeme ‚zur Verbesserung des Signal-Rauschabstands verwendet.

Außer für Studiobetrieb, Heim und Reportagezwecke werden M. heute auch zur Informationsspeicherung in Bürotechnik und Flugsicherung (bis > 30 Spuren), als ↑ Speicher in der BMSR- und Datenverarbeitungstechnik, zur Prozeßsteuerung, in Forschung und Lehre sowie zur ↑ Fernsehaufzeichnung angewendet; in Zusammenhang mit letzterer gibt es als Heimgeräte *Video-Kassetten-Recorder.*

Geschichtliches. Das Prinzip des M. wurde von dem dänischen Physiker und Techniker *Valdemar Poulsen* erstmals im sog. *Telegraphon* angewendet, einem Gerät, das Telefongespräche auf einem bewegten Stahldraht speicherte; es vermochte sich jedoch wegen zu hoher Laufgeschwindigkeit und der fehlenden Verstärkungsmöglichkeit nicht durchzusetzen. Erst der Ersatz des Stahldrahts durch ein mit magnetischem Material beschichtetes Papier-, später Folienband (um 1930, *Fritz Pfleumer*) und die Einführung der HF-Vormagnetisierung (um 1940) ermöglichten die rasche Entwicklung des M. Es wurde beim Rundfunk ab 1938 eingeführt; die ersten Heimbandgeräte kamen nach 1945 auf den Markt.

Magnetron *n*: ↑ Laufzeitröhre zur Schwingungserzeugung im Höchstfrequenzbereich (von etwa 3 bis 300 GHz), deren Funktion auf der gleichzeitigen Einwirkung eines elektrischen und eines magnetischen Feldes auf Elektronen beruht.

Beim *Vielschlitz-M.* ist der massive, zylinderförmige Anodenblock meist aus Kupfer gefertigt und außen mit Kühlrippen versehen, deren Wärme durch eine Luft- oder Wasserströmung abgeführt wird. In seine Wand sind die frequenzbestimmenden Hohlraumresonatoren eingearbeitet, die durch strahlenförmig angeordnete Schlitze mit der zentralen Bohrung des Anodenblocks, dem Wechselwirkungsraum, in Verbindung stehen. Einer der Hohlraumresonatoren enthält zur Energieentnahme eine Kopplungsschleife oder ist mit einem Hohlleiter verbunden. Die Schlitze der einzelnen Hohlraumresonatoren bilden eine ringförmig geschlossene Verzögerungsleitung, auf der ein HF-Feld umlaufen kann, mit dem die Elektronen in Wechselwirkung treten. Im Zentrum des Wechselwirkungsraums befindet sich die walzenförmige Katode (Oxid- oder Vorratskatode). Die Feldlinien eines Magneten durchsetzen den Wechselwirkungsraum parallel zur Katodenachse. Liegt am Anodenblock gegenüber der Katode positive Spannung, so fließt Anodenstrom. Die Elektronen erreichen den Anodenblock jedoch nicht auf kürzestem Wege, sondern durchlaufen unter dem Einfluß des Magnetfelds verschlungene, schleifenförmige Bahnen. Sie treffen daher meist nicht senkrecht auf die Anode, sondern streifen diese. Werden in einem der Hohlraumresonatoren elektromagnetische Schwingungen erregt, so teilen sie sich über die Schlitze und den Wechselwirkungsraum den übrigen Hohlraumresonatoren mit. Zwischen den Schlitzwänden einerseits und zwischen den Oberflächen der Anodensegmente anderseits treten Wechselspannungen auf, die Größe und Richtung mit der Frequenz des elektromagnetischen



Magnetron (vereinfachter Schnitt)

Wechselfelds ändern. Vor augenblicklich positiven Segmenten befindliche Elektronen werden zusätzlich beschleunigt, Elektronen vor negativen Segmenten verzögert. Durch diese Vorgänge bildet sich eine Elektronenverteilung von speichenförmiger Gestalt, die synchron mit dem HF-Feld auf der Verzögerungsleitung umläuft und jedesmal zusätzlich gebremst wird, wenn sie den Schlitz eines Hohlraumresonators passiert. Die Elektronen geben dabei Energie ab, die Energie der elektromagnetischen Schwingungen in den Hohlraumresonatoren wird verstärkt und kann abgenommen werden. Durch den Energieaustausch zu langsam gewordene Elektronen treten in den Anodenblock ein und werden durch aus der Katode austretende Elektronen ersetzt. Der Wirkungsgrad des M. (bis 80 %) ist höher als der aller übrigen Elektronenröhren für den Höchstfrequenzbereich. Seine Leistung erreicht, je nach Konstruktion und Frequenzbereich, bis zu einigen Kilowatt, im Impulsbetrieb bis zu 10 MW und darüber. Als Impuls-M. wird es in der Radartechnik, als Dauerstrich-M. für die industrielle Erwärmung (HF-Heizung, z. B. Mikrowellenherd) verwendet.

Majoritätsträger und **Mangelleitung** ↑ Halbleiter.

Maser [Abk. für engl. *M*icrowave *A*mplification by *S*timulated *E*mission of *R*adiation, Mikrowellenverstärkung durch induzierte Strahlungsemission], auch *Molekularverstärker*: Höchstfrequenzverstärker auf der Grundlage der Wechselwirkung zwischen elektromagnetischem Höchstfrequenzfeld und Atomen (Molekülen). Nach den Gesetzen der Atomphysik erfolgen Energieabsorption und -emission durch Atome (Moleküle) nur in diskreten Beträgen, die der Differenz ΔW zwischen den Energieniveaus verschiedener Elektronenbahnen entspr. und sich aus der Formel $\Delta W = h \cdot f$ ergeben (h = Plancksches Wirkungsquantum, f absorbierte oder emittierte Frequenz). Da die Differenzen durch den Atombau festliegen, wird bei jedem Übergang elektromagnetische Strahlung bestimmter Frequenz absorbiert oder emittiert. Elektronen, die durch Energiezufuhr auf eine Bahn höheren Energieniveaus gehoben

wurden, bleiben dort nur sehr kurze Zeit (etwa 10^{-8} s) und fallen dann unter Strahlungsemission auf ein niedrigeres Niveau zurück (Rückspringen). Diese *spontane Emission* erfolgt in verschiedenen Atomen unabhängig voneinander; die Strahlung ist inkohärent.
Für den M. ist die *induzierte Emission* entscheidend, Rückspringen und Emission werden durch ein elektromagnetisches Feld der Frequenz f ausgelöst. Auslösende und ausgelöste Welle fallen zeitlich und räumlich zusammen, sie sind kohärent. Im Endergebnis kommt es zu einer Vervielfachung der auslösenden Strahlungsenergie, also zu einem Verstärkungseffekt. Voraussetzung hierfür ist, daß sich auf dem höheren Niveau genügend viele Elektronen befinden, die beim Rückspringen emittieren können. Da im Normalfall die energieärmeren Niveaus stärker mit Elektronen besetzt sind als die energiereicheren, müssen vor der Emission Elektronen auf dem Niveau höherer Energie „angereichert" werden. Als erster technisch realisiert wurde der *Ammoniak-Molekularstrahl-M.* (Abb. *1*). Die Moleküle des NH_3-Gases können in 2 verschiedenen

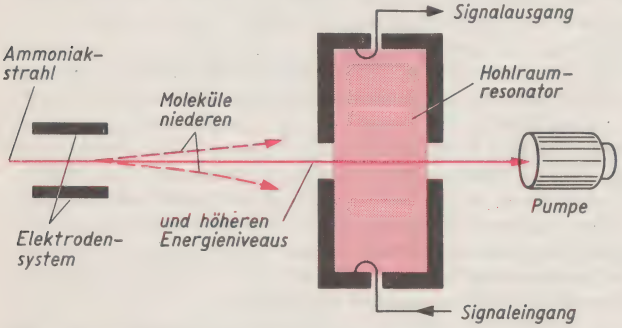


Abb. *1*: Ammoniak-Molekularstrahl-Maser

Energiezuständen existieren; beim Übergang vom einen zum anderen entsteht eine Strahlung mit einer Frequenz von 23,87 GHz. Zur Anreicherung der Moleküle höheren Niveaus dient ein Sortierungsvorgang: Ein feiner Ammoniakstrahl wird durch ein spezielles Elektrodensystem geleitet. Dabei sammeln sich Moleküle höheren Niveaus in der Strahlachse, während diejenigen niederen Niveaus zur Seite gelenkt und entfernt werden. Der Gasstrahl passiert einen auf 23,87 GHz abgestimmten Hohlraumresonator und wird anschließend durch eine Pumpe abgesaugt. Wurde in diesem Hohlraumresonator ein elektromagnetisches Wechselfeld erregt, so löst es zahlreiche Übergänge in den NH_3-Molekülen aus; es wird selbst infolge der dabei emittierten Strahlung verstärkt, so daß ein geringer Höchstfrequenz-Energiebetrag ausgekoppelt werden kann. Hervorstechendste Eigenschaft des Ammoniak-Molekularstrahl-M. ist seine äußerst konstante, allein durch den Niveauübergang im NH_3-Mole-

kül bestimmte Frequenz. Daher ist dieser M.typ ausgezeichnet als Frequenz- und Zeitnormal geeignet (vgl. Atomuhr). Seiner technischen Verwendung, z. B. in der drahtlosen Nachrichtentechnik, stehen seine sehr geringe Bandbreite und seine begrenzten Verstärkungseigenschaften entgegen.

Größere technische Bedeutung hat der *Festkörper-M.*, vor allem als *Dreiniveau-M.*, erlangt. Er nutzt Übergänge zwischen 3 Energieniveaus aus (Abb. 2), z. B. in einem mit parametrischen Ionen dotierten Rubinkristall, der sich in einem magnetischen Gleichfeld und bei sehr niedriger Temperatur (Kühlung z. B. durch flüssiges Helium) befindet. Der Rubin, in einem Hohlraumresonator (*Resonanz-M.*) oder in einem Wellenleiter (*Wanderfeld-M.*) angeordnet, ist gleichzeitig 2 Höchstfrequenzfeldern ausgesetzt. Das eine, dessen Frequenz dem Übergang von Niveau 1 auf Niveau 3 entspricht, „pumpt" Elektronen auf dieses Niveau (daher nennt man seine Frequenz Pumpfrequenz). Die Elektronen springen von dort spontan auf das Niveau 2 zurück. Das 2. Höchstfrequenzfeld hat die dem Übergang vom Niveau 2 zum Niveau 1 entspr. Frequenz und wird durch die zu verstärkende Signalfrequenz erzeugt. Unter ihrem Einfluß kommt es zur induzierten Emission zwischen den Niveaus 2 und 1 und damit zur Verstärkung. Pumpen und Verstärken laufen kontinuierlich ab; durch Verändern des magnetischen Gleichfelds können außerdem die Übergangsfrequenzen um bestimmte Beträge verschoben werden. Der Festkörper-M. weist eine Bandbreite bis zu mehreren 10 MHz auf, ist also zur Verstärkung breiter Frequenzbänder geeignet.

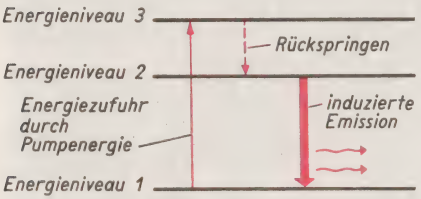


Abb. 2: Übergänge beim Dreiniveau-Maser

Mit M. werden heute Frequenzen bis in den mm-Wellenbereich verstärkt. Größter Vorteil ist ihr sehr geringes Rauschen (mehrere Zehnerpotenzen unter demjenigen herkömmlicher Verstärker); M. sind daher bes. für die Verstärkung schwächster Signale geeignet. Sie werden z. B. in Radaranlagen bes. großer Reichweite, in der Radioastronomie und in den Bodenstationen von Satellitenfunkverbindungen eingesetzt.

Maskentechnik ↑ Halbleitertechnologie.

Massekern ↑ Spule.

Matrix-Schaltkreis ↑ Halbleiterblocktechnik.

medizinische Elektronik: Teilgebiet der Elektronik, das sich mit der Entwicklung und Anwendung elektronischer Geräte und Verfahren zur Lö-

sung von Aufgaben der Medizin befaßt. Die m. E. bedient sich dabei bekannter, zweckentspr. abgewandelter Geräte (z. B. Elektronenstrahloszillograph, HF-Generator) und nutzt Spezialentwicklungen (↑ Intestinalsender, ↑ Herzschrittmacher). Die Anwendungsmöglichkeiten der m. E. lassen sich unterteilen in:

1. Sammlung von Informationen und Registrierung physiologischer Vorgänge mittels geeigneter Meßfühler und nachgeschalteter Geräte. Dazu gehören u. a. die Elektrokardiographie und die Elektroenzephalographie, die laufende Überwachung lebenswichtiger Kreislauffunktionen (Puls, Atemfrequenz und -volumen, CO_2-Gehalt der Atemluft u. a.) bei chirurgischen Eingriffen. Bes. Bedeutung erlangt die Fernüberwachung von Patienten über Meßfühler und drahtgebundene oder drahtlose Übertragungskanäle sowie durch Fernsehen. Von einem Kontrollplatz aus können die Patienten angewählt werden, die Meßwerte erscheinen auf Bildschirm oder Skalen bzw. werden von einem Kleinrechner ausgedruckt. Unabhängig vom angewählten Patienten lösen gefährliche Meßwertabweichungen (z. B. Absinken der Atemfrequenz) Alarm aus. Zur Speicherung medizinischer Daten dienen häufig EDVA. Drahtlose Übertragung medizinischer Daten ist auch üblich bei Test- und Raumflügen, für sport- oder arbeitsphysiologische Untersuchungen u. a.

2. Stimulierung der Tätigkeit bestimmter Organe sowie Hilfe bei gestörten oder ausgefallenen Körperfunktionen. Hierzu gehören u. a. die verschiedenen Arten von Stimulatoren, Hörhilfen, Sprechhilfen, elektronische Prothesen und die Versuche, einen elektronischen Ersatz für ausgefallenes Sehvermögen zu schaffen.

3. Für Therapiezwecke werden elektrische, elektromagnetische oder Ultraschallfelder eingesetzt (z. B. Kurz- und Mikrowellentherapie, Iontophorese, Reizstromtherapie), ferner Elektronenschleudern (Betatrons) zur Geschwulsttherapie und Laser. Auch zum Modellieren physiologischer und psychologischer Vorgänge wird die m. E. herangezogen.

Mehrfachempfang, *Diversityempfang* [engl. diversity, Verschiedenheit]: Verfahren bes. des KW-Fernverkehrs zur Bekämpfung von ↑ Schwund durch Empfang der gleichen Nachricht auf mehreren Übertragungswegen und selbsttätige Auswahl des jeweils ungestörtesten Weges am Empfangsort durch ein *Ablösegerät*. Es vergleicht eine einstellbare (Soll-) „Schwellenspannung" mit der jeweiligen (Ist-)Spannung am Empfängereingang. Unterschreitet diese den Schwellenwert, so schaltet es auf einen anderen, günstigeren Übertragungsweg um. Man unterscheidet mehrere Empfangsprinzipien.

Raum-M. (*Raum-Diversity*): Mehrere Antennen werden im Abstand einiger Wellenlängen aufgestellt. Da Interferenzschwund, insbes. selektiver Schwund, örtlich stark schwankt, sind die Antennen selten gleichzeitig von gleichen Schwunderscheinungen betroffen. Die jeweils günstigste Antenne wird mit dem Empfänger verbunden.

Polarisations-M. (*Polarisations-Diversity*): Die Polarisation der einfallenden Wellen schwankt ständig. Dem Empfang dienen 2 Antennen mit

aufeinander senkrechter Polarisationsebene; das Ablösegerät wählt die günstigste aus. Die Antennen brauchen örtlich nicht getrennt zu sein (Einsatz z. B. in dicht besiedeltem Gelände oder auf Schiffen).
Frequenz-M. (*Frequenz-Diversity*): Die gleiche Nachricht wird von 2 Sendern gleichzeitig auf 2 Frequenzen ausgestrahlt und von 2 zusammenarbeitenden Empfängern aufgenommen. Wegen des großen Frequenzbedarfs wird dieses Verfahren nur in Sonderfällen, z. B. unter bes. ionosphärischen Bedingungen, angewendet.
Je nach dem Eingriff des Ablösegeräts unterscheidet man bei Raum- und Polarisations-M.: *Empfänger-M.* (*Empfänger-Diversity*), bei dem jede Antenne mit einem Empfänger verbunden ist und das Ablösegerät die Empfängerausgänge umschaltet, sowie *Antennen-M.* (*Antennen-Diversity*), bei dem nur ein Empfänger verwendet wird und das Ablösegerät dessen Eingang an die jeweils „beste" Antenne schaltet.
Mehrfachzeichen ↑ Wellenausbreitung.
Mehrnormenempfänger: Fernsehempfänger, mit dem nach verschiedenen ↑ Fernsehnormen arbeitende Sender empfangen werden können. Bei Fernsehnormen mit voneinander abweichenden Zeilenzahlen müssen im M. die Ablenkstufen mehrfach vorhanden oder umschaltbar ausgeführt sein. Die Modulationsarten (Negativ- oder Positivmodulation der Bildsignale, Frequenz- oder Amplitudenmodulation des Begleittons) machen evtl. weitere zusätzliche Stufen erforderlich. Für *Farb-M.* kommt aus geographischen Gründen meist die Umwandlung PAL-/SECAM-System oder umgekehrt in Betracht. Der HF-Teil der Empfänger und auch andere Bauelemente oder -gruppen (Verzögerungsleitung, Verstärkung des Leuchtdichtesignals) dienen diesen beiden Systemen gemeinsam; dagegen müssen getrennte Farbdecoder vorhanden sein.
Mehrstrahlröhre ↑ Oszillographenröhre.
Mesatechnik ↑ Halbleitertechnologie.
Meßbrücke ↑ Brückenschaltung.
MF ↑ Frequenzbereiche.
Microstrip-Leitung ↑ Mikrowellen-Streifenleitung.
Mikroelektronik: Zweig der Elektronik, in dem man sich mit Entwurf und Herstellungsverfahren elektronischer Schaltungen bzw. ↑ Schaltkreise beschäftigt, die eine Dichte von 2 oder mehr Bauelementen/cm^3 haben. Die M. hat folgende Vorteile:
1. Verringerung des Volumens von Geräten und Anlagen, die im Laufe der Zeit durch die mit ihrer Kompliziertheit wachsende Bauelementenzahl (in EDVA bis $>10^6$) immer umfangreicher geworden waren. Diese Reduzierung wurde durch Erhöhung der ↑ Bauelementendichte erreicht. Während diese ohne Anwendung der M. (durch Schaltdrähte verbunden, einzelne Bauelemente, Röhrenbestückung) nur $0{,}1/cm^3$ beträgt, werden in der M. gegenwärtig $>10^4$ Bauelemente/cm^3 erreicht.
2. Verringerung der Masse hat neben dem Volumen vor allem für ortsveränderliche Anlagen (z. B. im Verkehrswesen, tragbare Geräte)

entscheidende Bedeutung. Es wurde z. T. bereits eine Verringerung bis auf 1 % und darunter erzielt.

3. Erhöhung der Zuverlässigkeit, die mit zunehmender Anzahl der Bauelemente und ihrer ↑ Ausfallrate (Tab.) sinkt, so daß Anlagen mit einigen 10^5 bis 10^6 einzelnen Bauelementen und entspr. vielen Lötstellen wegen zu häufiger Ausfälle nicht mehr sinnvoll sind. Mit der M. strebt man durch entspr. Herstellungsverfahren an, daß ganze Baugruppen nur eine Ausfallrate wie Si-Halbleiterbauelemente in Planartechnik haben (↑ Halbleitertechnologie).

4. Verringerung des Energiebedarfs, die aus energiewirtschaftlichen Gründen wünschenswert ist, denn eine Anlage mit z. B. 20 000 Elektronenröhren würde allein 40 kW für die Röhrenheizung benötigen. Energiebedarf und Verlustleistung konnten durch die M. für vergleichbare Baugruppen und Anlagen gegenüber Röhrenbestückung größenordnungsmäßig um einen Faktor > 100 gesenkt werden.

5. Verkürzung der Signallaufzeit, die zwischen Bauelementen und -gruppen mancher elektronischer Anlagen kurz gegenüber der Schwingungsdauer der dazugehörigen Ströme bzw. Spannungen oder gegenüber der Umschaltzeit digitaler Baugruppen sein muß. Dieser Verkürzung kommt die M. aufgrund ihrer großen Bauelementendichte entgegen.

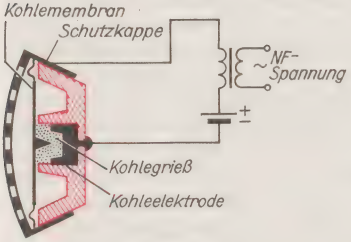
6. Entscheidende Steigerung der Wirtschaftlichkeit und der Fertigungs-Arbeitsproduktivität ist erst in der M. möglich, da hier umfangreiche Schaltungen in häufig wiederkehrende, in großer Stückzahl gleichzeitig und automatisch produzierbare Baugruppen aufgelöst sind, während Mechanisierung und Automatisierung bei der Fertigung elektronischer Geräte aus einzelnen und einzeln zu verbindenden Bauelementen kaum durchführbar waren; die manuelle Fertigung wurde mit steigender Bauelementezahl immer unökonomischer, und die Fertigungsfehler nahmen zu.

Vorstufen der M. sind die mit der Verkleinerung konventioneller Bauelemente einhergehende Technik der ↑ gedruckten Schaltungen, die ↑ Modultechnik und Mikromodultechnik. Während hierbei die Bauelemente einzeln und nach verschiedenen Verfahren gefertigt sowie zur Schaltung zusammengesetzt werden, ist die M. durch ↑ *integrierte Schaltungen* charakterisiert.

2 Richtungen der M. haben vor allem Bedeutung: Durch Anwendung der ↑ *Dickschicht-* bzw. ↑ *Dünnschichttechnik* entstehen *Filmschaltkreise*, deren Bauelemente und Leitungszüge auf isolierendem Trägermaterial erzeugt werden. Mit Hilfe der ↑ *Halbleiterblocktechnik* fertigt man *Festkörperschaltkreise*, deren Bauelemente in Halbleitermaterial erzeugt und durch aufgedampfte Leitungszüge verbunden werden. Die ↑ *Hybridtechnik* ist eine Kombination beider Richtungen bzw. von Film- oder Festkörperschaltkreisen mit diskreten Bauelementen.

Mikrofon: Schallwandler zur Umwandlung von Schallschwingungen in niederfrequente (tonfrequente) elektrische Spannungen und Ströme, und

zwar vorwiegend in Luft, aber auch in festen und flüssigen Körpern, z. B. zur Aufnahme mechanischer Schwingungen von Maschinenteilen, als *Kehlkopf-M.* zur Umwandlung der durch die Halspartien vermittelten Schwingungen im Kehlkopf, zur Aufnahme von Herzgeräuschen u. a. Am ältesten ist das *Kohle-M.*, in dem eine kleine, mit Kohlegrieß gefüllte Kammer durch 2 Kohleelektroden abgeschlossen wird. Die eine ist fest, die andere biegt sich als Membran unter dem Einfluß von Schallschwingungen rhythmisch durch und drückt dabei die Kohleteilchen mehr oder weniger zusammen. Der Übergangswiderstand zwischen den Kohlekörnern ändert sich im Rhythmus der Durchbiegung und damit der Schallschwingungen. Ein das Kohle-M. durchfließender Gleichstrom schwankt mit der Tonfrequenz; an der Sekundärseite des Transformators im M.stromkreis steht die tonfrequente Wechselspannung zur Verfügung. Das Kohle-M. ist einfach, billig und liefert eine Ausgangsspannung um 1 V/Pa. Jedoch können die Änderungen des Übergangswiderstands nur Frequenzen bis zu einigen 10^3 Hz folgen. Außerdem verursacht der ständig geringfügig schwankende Übergangswiderstand der Kohleteilchen ein Rauschen, das bes. bei geringem Schalldruck stört. Das Kohle-M. wird daher fast nur noch für Fernsprechzwecke angewendet.



Funktionsprinzip des Kohlemikrofons; zu den anderen Mikrofonarten vgl. Abb. bei Lautsprecher

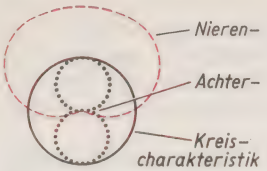
Elektrodynamische M. arbeiten nach dem umgekehrten Prinzip der elektrodynamischen ↑ Lautsprecher. Beim *Tauchspul-* oder *dynamischen M.* schwingt eine mit einer Membran verbundene, sehr leichte Spule im ringförmigen Luftspalt eines Magneten. Durch elektromagnetische Induktion entstehen in den Spulenwindungen tonfrequente Spannungen, die eine Verstärkerstufe steuern. Tauchspul-M. geben eine Ausgangsspannung von 2 mV/Pa ab und sind für Frequenzen bis >12 kHz einsetzbar. Sie benötigen keine zusätzliche Spannungsquelle und rauschen nicht. Da ihr Innenwiderstand niedrig ist (z. B. 200 Ω), werden sie zur Anpassung häufig über einen Transformator angeschlossen (z. B. an den Eingang eines röhrenbestückten Verstärkers). Im *Bändchen-M.*, einer früher verbreiteten Variante des elektrodynamischen M., schwingt ein schmaler, quer geriffelter, nur etwa 3 μm dicker Aluminiumstreifen im Feld eines Magneten. Im Streifen wird eine tonfrequente Spannung induziert. Da sein Widerstand sehr gering ist, muß zwischen M. und Verstärker zur Anpassung stets ein Transformator geschaltet werden.

Das *Kondensator-M.* stellt die Umkehrung des elektrostatischen Lautsprechers dar. Dicht vor einer festen Membran, die einen Belag eines Kondensators bildet, schwingt eine bewegliche Membran, z. B. eine mit Metall bedampfte Plastfolie, als 2. Belag. Die Kapazität dieses Kondensators ändert sich mit den Schallschwingungen. Werden seine Beläge mit einer Gleichspannungsquelle von z. B. 100 V verbunden, so fließen tonfrequente Ladeströme. Die aus ihnen unmittelbar zu gewinnenden Spannungen sind so gering, daß mit dem Kondensator-M. stets die 1. Verstärkerstufe konstruktiv vereint werden muß. An ihrem Ausgang stehen Spannungen um 15 mV/Pa zur Verfügung. Der Frequenzbereich des Kondensator-M. erstreckt sich von den niedrigsten Tonfrequenzen bis über den Hörbarkeitsbereich hinaus. Es ist daher bes. für hochwertige Musikaufnahmen (in Schallplatten- und Rundfunkstudios) sowie für Meßzwecke (z. B. Bauakustik, Lärmmessungen) geeignet.

Das *piezoelektrische* oder *Kristall-M.* bildet die Umkehrung des piezoelektrischen Lautsprechers. 2 schmale Kristallstreifen, z. B. aus Seignettesalz, werden an ihren Oberflächen mit einem leitenden Belag versehen, zusammengekittet und mit einer Membran verbunden. Letztere überträgt die mechanischen Schallschwingungen auf die Kristallstreifen; die an deren Oberfläche durch den ↑ piezoelektrischen Effekt auftretenden entgegengesetzten Ladungen wechseln im Tonfrequenzrhythmus, und an den miteinander verbundenen Metallbelägen auf den Oberflächen und an der Trennfläche der Streifen kann eine Tonfrequenzspannung um 20 mV/Pa abgenommen werden. Der Frequenzbereich des Kristall-M. erstreckt sich von etwa 100 bis >7000 Hz; es ist daher gut für Sprachübertragungen geeignet, benötigt keine Hilfsspannung und kann wegen seines hohen Innenwiderstands unmittelbar an den Eingang eines röhrenbestückten Verstärkers, jedoch an den eines Transistorverstärkers nur mit bes. Anpassung geschaltet werden. Statt aus Kristall werden in jüngster Zeit die Streifen auch aus gesinterter und gebrannter keramischer Masse hergestellt.

Beim *magnetischen M.*, das bes. als Kleinst-M. (z. B. in Hörhilfen) Verwendung findet, ändert ein im Tonfrequenzrhythmus schwingender Anker das Feld eines Magneten. In einer Spule, die den Anker umhüllt, werden dabei tonfrequente Spannungen induziert.

Durch entspr. Konstruktion der M. läßt sich erreichen, daß sie Schall nahezu gleichmäßig aus allen oder bevorzugt aus bestimmten Richtungen aufnehmen. Ein Kondensator-M. z. B., dessen feste Elektrode eine Vollfläche hat, reagiert auf den gesamten Schalldruck; seine Richtcharakteristik ist ein Kreis. Versieht man die feste Elektrode aber mit Bohrungen, so daß die Schallschwingungen auch von der anderen Seite der Membran wirken können, so spricht das M. auf Druckunterschiede zwischen Vorder- und Rückseite der beweglichen Elektrode an. Sie sind dann am größten, wenn der Schall genau von vorn oder hinten kommt, am geringsten bei seitlichem Einfall; Richtcharakteristik ist eine „8". Entspr. gilt für andere M.arten. Kombiniert man Kreis- und



Richtcharakteristiken von Mikrofonen

Achtercharakteristik durch Verbindung von 2 entspr. M.en oder durch ein M., bei dem z. B. die Schallaufnahme von der Rückseite her stark gedämpft wird, so erhält man eine einseitige, nierenförmige Richtcharakteristik (Kardioide). Sie läßt sich durch weitere konstruktive Maßnahmen zu einer schmalen Keule formen, so daß ein solches M. Schall nur noch aus nahezu einer Richtung aufnimmt. Vgl. Stereofonie.

Drahtloses M. ist die Bez. für einen Kleinstsender, der mit einem M. zu einer konstruktiven Einheit zusammengefaßt ist, so daß die Abmessungen (einschl. der eingebauten Stromversorgungsquelle) nur etwa die einer Streichholzschachtel betragen. Der aus miniaturisierten Schaltkreisen aufgebaute Sender arbeitet meist im m-Wellenbereich (Reichweite einige 10 m) mit einem Spezialempfänger zusammen, der z. B. eine Verstärkeranlage steuert. Das drahtlose M. bietet Vortragenden, Reportern, Interviewpartnern u. ä. freie Beweglichkeit (ohne Behinderung durch ein M.kabel) bei annähernd gleichbleibendem Abstand M. – Mund. Großausführungen drahtloser M. (Reichweite bis einige 100 m, M. wird in der Hand, Sender in der Tasche getragen) sind vor allem für Reportagezwecke bestimmt.

Mikrofonie: periodische Änderungen des Ausgangssignals eines röhrenbestückten Verstärkers durch mechanische Schwingungen. M. äußert sich als Geräusch oder Ton („Klingen") im Lautsprecher.

Mikroprozessor: Großschaltkreis (↑ Halbleiterblocktechnik), gegenwärtig meist in MOS-Technik ausgeführt, der auf einem Chip bei Bauelementendichten bis z. B. 300 Transistoren/mm^2 die Zentraleinheit (Steuer- und Rechenwerk, Register usw.) eines Digitalrechners enthält. M.en sind je nach Aufbau und vorgesehenem Einsatz für rechnerische oder bzw. und logische Aufgaben für Wortlängen von 4, 8, 16, selten 12 bit, eingerichtet; die Operationszeit je Befehl beträgt 2 bis 10 μs. M.en, z. B. in ein DIL-Gehäuse eingebaut, sind Hauptbestandteil jedes ↑ Mikrorechners.

Mikrorechner, *Mikrocomputer*: extrem miniaturisierter, aus wenigen und oft nur eine Leiterplatte beanspruchenden Chips zusammengesetzter Digitalrechner. Ein M. besteht mindestens aus ↑ Mikroprozessor, Festwert- und Lese-und-Schreib-Speicher (aus Gründen des Raumbedarfs, der benötigten Leistung und der Kosten ausschl. Halbleiterspeicher) sowie Ein-und-Ausgabe-Einheit. Zuverlässigkeit, Programmierbarkeit, Flexibilität, leichte Bedienbarkeit und günstiger Preis sichern den M. umfassende und neue Anwendungsmöglichkeiten auch bei Aufgaben, die

wegen ihres begrenzten Umfangs den Einsatz von Rechnern nicht rechtfertigten und daher mit konventionellen Steuer- und Regeleinrichtungen gelöst werden mußten. So werden M. gegenwärtig u. a. angewendet für Taschenrechner, Registrierkassen, medizinische Diagnosegeräte, rechnende Waagen, Aufzugssteuerung, Verkehrssignalanlagen, Datensammlung und -sortierung usw.

Mikrowellenherd: Einrichtung, in der durch ↑ Hochfrequenzerwärmung im elektromagnetischen Höchstfrequenzfeld eines bis zu mehreren Kilowatt starken Industrie-HF-Generators (meist mit einem Magnetron bestückt) Speisen erwärmt, gegart, gegrillt oder aus tiefgekühltem Zustand aufgetaut werden. Die Speisen befinden sich in einem abgeschlossenen und abgeschirmten Arbeitsraum – der aber trotzdem für Durchlaufbetrieb eingerichtet sein kann –, in den die Mikrowellenenergie eingekoppelt wird. Die Erwärmung geschieht innerhalb weniger Minuten gleichmäßig, so daß wichtige Wertstoffe erhalten bleiben; zur Oberflächenbräunung kann eine zusätzliche IR-Heizung eingebaut werden. M. haben sich in Großküchen, Gaststätten, Flugzeugbordküchen u. a. bewährt.

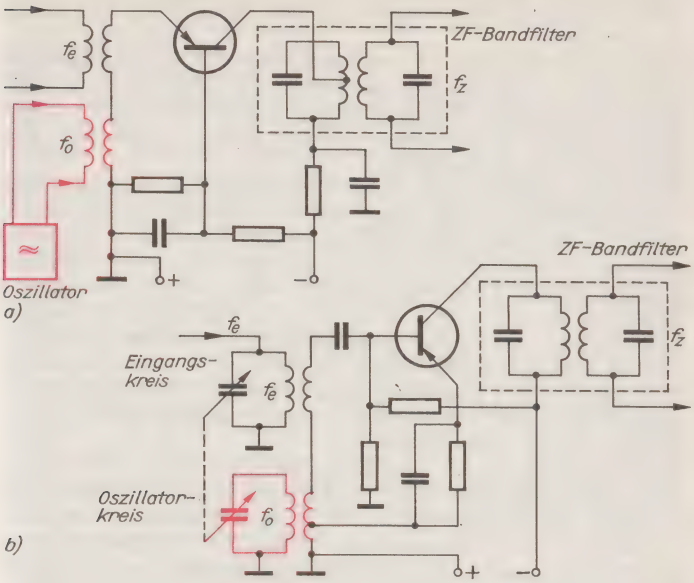
Mikrowellen-Streifenleitung, *Microstrip-Leitung*: ↑ Wellenleiter für den cm-Wellenbereich, bestehend aus einem Streifen eines verlustarmen Dielektrikums, das entweder auf beiden Breitseiten Metallfolien und eingebettet einen bandförmigen Leiter oder Metallfolie auf einer, den Leiter auf der anderen Breitseite trägt. Das elektromagnetische Feld konzentriert sich auf den vom Dielektrikum erfüllten Raum, wenn die Dicke des Dielektrikums in einem bestimmten Verhältnis zur relativen Dielektrizitätskonstanten steht; die Strahlungsverluste bleiben infolgedessen sehr gering. Durch die Entwicklung der M. wurde es möglich, gedruckte und integrierte Schaltungen auch für den Mikrowellenbereich herzustellen.

Mikrowellentherapie ↑ Kurzwellentherapie.

Miniaturröhre ↑ Elektronenröhre.

Minoritätsträger ↑ Halbleiter.

Mischpult: Einrichtung zur Kontrolle, Mischung und Weitergabe von Ton- und Bildsignalen verschiedener Quellen in elektroakustischen und Bild-Übertragungsanlagen, vor allem in Hörfunk- und Fernsehstudios. Beim *Ton-M.* für den Hörrundfunk und für den Begleitton von Fernsehsendungen werden die Signale von Mikrofonen, Magnettongeräten und Plattenspielern sowie z. B. Hall- und Echoeffekte zusammengeführt, gesteuert, abgehört und zum Sender weitergeleitet. Beim Fernsehrundfunk laufen im *Bild-M.* die Signale von Fernsehkameras, Film- und Epidiaskopgebern sowie von Fernsehaufzeichnungsgeräten zusammen. Über- und Einblendungen werden ebenfalls vom M. aus gesteuert. Die von den genannten Geräten kommenden Bildsignale werden auf Kontrollbildschirmen beobachtet und dem zur Weiterleitung an den Sender ausgewählten Signal die Synchronisierimpulse zugesetzt. Darüber hinaus enthalten M. Verstärker, Schaltungen zur Entzerrung und Wechselsprecheinrichtungen für die Verständigung mit den Personen am Aufnahmeort.



Misch-und-Oszillator-Stufe mit getrenntem Oszillator (a) und selbstschwingend (b)

Mischröhre ↑ Elektronenröhre.

Misch-und-Oszillator-Stufe: Baugruppe eines ↑ Superhets mit der Aufgabe, durch ↑ Mischung der empfangenen Schwingungen (Eingangsfrequenz f_e) mit den in der M. erzeugten Schwingungen (Oszillatorfrequenz f_o) die ZF-Spannung, meist mit der konstanten Frequenz $f_z = (f_o - f_e)$, zu gewinnen.

M. halbleiterbestückter Empfänger, aber auch von röhrenbestückten hochwertigen Funkdienst-Empfängern, UKW-Geräten und UKW-Teilen von Hörfunkempfängern haben *additive Mischung*, die bei Röhrenbestückung mit Trioden geschieht. Dadurch ist größere Mischsteilheit als bei multiplikativer Mischung erreichbar, und es tritt kein Stromverteilungsrauschen auf. In Abb. a wird die Oszillatorspannung der Frequenz f_o in einem getrennten Oszillator gewonnen und mit Hilfe des in Basisschaltung arbeitenden Transistors (↑ Verstärker 1.2.) mit der Eingangsspannung der Frequenz f_e gemischt. Die *selbstschwingende M.* benutzt einen Transistor in Emitterschaltung, die Oszillatorspannung der Frequenz f_o wird in einer abgewandelten Dreipunktschaltung (↑ Oszillator) gewonnen. Letztere wird im Höchstfrequenzbereich bevorzugt. Um die Ausstrahlung der Oszillatorfrequenz über die Antenne zu verhindern und gleichzeitig eine zusätzliche HF-Verstärkung zu erhalten, kombiniert man

diese M. stets mit einer Vorstufe zu einer konstruktiven Einheit (vgl. Kanalwähler).

Multiplikative Mischung wird noch in röhrenbestückten Empfängern des KW-, MW- und LW-Bereichs durchgeführt. Dies geschieht mit speziellen *Mischröhren*, insbes. *Trioden-Heptoden* (z. B. ECH 81, vgl. Elektronenröhre), deren Triodensystem im Oszillator arbeitet, während das Heptodensystem zur Mischung dient.

Mischung, *Frequenzwandlung, Frequenzumsetzung, Transponierung*: Zusammensetzen von elektrischen Schwingungen unterschiedlicher Frequenz in einem Bauelement mit nichtlinearer Kennlinie (z. B. Elektronenröhre, Transistor) in der Weise, daß eine (oder mehrere) Schwingung(en) anderer Frequenz(en) gebildet wird (werden), die man Zwischenfrequenz (ZF) nennt. M. wird angewendet, wenn Schwingungen einer Frequenz oder eines Frequenzbands in einen anderen Frequenzbereich umgesetzt werden sollen, vor allem zur Gewinnung der ZF im ↑ Superhet, in der ↑ Trägerfrequenztechnik oder in ↑ Sendern zur Bereitstellung zahlreicher konstanter Frequenzen mit Hilfe weniger Quarzoszillatoren bzw. Steuerquarze.

M. ist ein Sonderfall der Amplitudenmodulation (↑ Modulation 1.), wobei die umzusetzende Schwingung der Frequenz f_1 mit der meist in einem Oszillator erzeugten Schwingung der Frequenz f_2 moduliert wird. Dabei entstehen u. a. die Frequenzen $(f_1 + f_2)$ und $(f_1 - f_2)$, deren Größe bei gegebener Frequenz f_1 durch die Wahl von f_2 festgelegt werden kann. Im Superhet wird meist $f_2 > f_1$ gewählt; als ZF-Spannung dient dann die bei der M. entstehende Spannung der Frequenz $(f_2 - f_1)$. War die Spannung der Frequenz f_1 bereits v o r der M. moduliert, z. B. mit einem NF-Signal bei Rundfunksendern, bleibt diese Modulation auch beim Mischvorgang erhalten; das modulierende Signal kann durch ↑ Demodulation aus der ZF-Spannung zurückgewonnen werden. Für die rechnerische Behandlung der M. wichtige Kenngrößen sind die *Mischsteilheit* S_c [von engl. conversion, Umwandlung], das Verhältnis zwischen Strom der Frequenz $(f_2 - f_1)$ im Ausgangskreis des mischenden Bauelements und Eingangsspannung der Frequenz f_1, sowie die sich aus der Mischsteilheit ableitende *Mischverstärkung*.

Additive M. liegt vor, wenn die zu mischenden Spannungen der Frequenzen f_1 und f_2 an e i n e r Elektrode des zur M. benutzten aktiven Bauelements wirken (an dieser Elektrode „addiert" werden). Im Ausgangskreis treten Schwingungen der durch den Modulationsvorgang bedingten Frequenzen auf; die Spannung der gewünschten Frequenz wird ausgesiebt, im Superhet z. B. die ZF-Spannung der Frequenz $(f_2 - f_1)$.

Multiplikative M. setzte eine Doppelsteuerung des Elektronenstroms in einer Elektronenröhre, z. B. an 2 getrennten und voneinander unabhängigen Gittern, voraus und wurde meist mit speziellen Mischröhren durchgeführt. Vgl. Misch-und-Oszillator-Stufe.

MISFET ↑ Transistor 2.

MNOS [Abk. für engl. *M*etal *N*itride *O*xide *S*emiconductor, Metall-

Nitrid-Oxid-Halbleiter]: Sonderform der MOS-Technik (↑ Schaltkreis), die eine Ladungsspeicherung über sehr lange Zeit ermöglicht.

MNSFET ↑ Transistor 2.

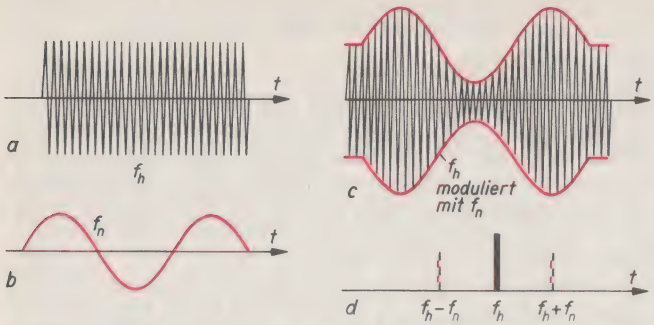
Modem ↑ Datenfernübertragung.

Modul: 1. in ↑ Modultechnik ausgeführte elektronische Grundschaltung oder Baugruppe. – **2.** steckbar oder anderweitig leicht auswechselbar ausgeführte Baugruppe elektronischer Geräte (z. B. Tonfrequenzverstärker eines Rundfunkempfängers oder Ablenkstufe eines Fernsehempfängers). Bei Versagen des Gerätes wird – oft nach fixiertem Fehlersuchprogramm – der M., nicht aber das defekte Bauelement, gewechselt.

Modulation: Beeinflussung einer charakteristischen Größe (Amplitude, Frequenz, Phase) einer elektrischen Schwingung durch ein Signal, das mit Hilfe dieser Schwingung von einem Sender zu einem oder mehreren Empfängern übertragen werden soll. Die beeinflußte, meist hochfrequente Schwingung heißt *Trägerschwingung* oder *Träger*, ihre Frequenz *Trägerfrequenz*. Das Signal, i. allg. ebenfalls in Schwingungsform, wird *M.sschwingung* genannt, seine Frequenz, die meist niedrig gegenüber der Trägerfrequenz ist, *M.sfrequenz*. M. ist erforderlich, wenn Signale nicht in ihrer urspr. Form übertragen werden können. So eignen sich z. B. NF-Schwingungen nicht für drahtlose Übertragung über große Entfernung und müssen daher einer HF-Schwingung aufmoduliert werden; in der Trägerfrequenztechnik sollen zahlreiche Nachrichten gleichzeitig über e i n e n Übertragungsweg laufen.

Im Unterschied zur *Überlagerung*, bei der mehrere Schwingungen, z. B. Wechselströme verschiedener Frequenz, einen Übertragungsweg ohne gegenseitige Beeinflussung durchlaufen und am Ende der Strecke mit einfachen Mitteln (vgl. z. B. Selektivrufeinrichtung) wieder getrennt werden können, ist eine Trennung von Träger- und M.sschwingung am Ende der Übertragungsstrecke nur durch den der M. entgegengesetzten Vorgang der ↑ Demodulation möglich. Einrichtungen zur M. heißen *Modulator*. Die Trägerschwingung läßt sich auf eine Gleichung der Form $x = A \cdot \sin(2\pi ft + \varphi_0)$ zurückführen. Daraus ergeben sich für eine sinusförmige Trägerschwingung 3 grundsätzliche M.smöglichkeiten: *Amplituden-M.* (Abk. AM) durch Beeinflussung der Trägerschwingungsamplitude A, *Frequenz-M.* (Abk. FM) durch Beeinflussung der Trägerfrequenz f, *Phasen-M.* (Abk. PM) durch Beeinflussung des Nullphasenwinkels φ_0. FM und PM ähneln einander und werden deshalb auch unter der gemeinsamen Bez. *Phasenwinkel-M.* zusammengefaßt. Wird die Trägerschwingung nicht ununterbrochen, sondern in Form von ↑ Pulsen übertragen, so liegt *Puls-M.* vor.

1. *Amplituden-M.* ist die am meisten verbreitete M.sart. Sie wird von Hörfunksendern im LW-, MW- und KW-Bereich, für die Ausstrahlung der Bildsignale von Fernsehsendern, für Funktelefonie und in der Trägerfrequenztechnik angewendet. Grundsätzlich verläuft die AM, indem die Trägerschwingung als Spannung oder Strom durch einen von der M.sschwingung gesteuerten, veränderbaren Widerstand beeinflußt wird.



Modulation, Abb. *1*: Trägerschwingung (*a*), Modulationsschwingung (*b*), modulierte Schwingung (*c*) sowie Lage der Trägerfrequenz und Seitenfrequenz bei Amplitudenmodulation (*d*)

Dieser wird durch ein Bauelement mit nichtlinearer Kennlinie, z. B. Diode, Transistor oder Elektronenröhre, dargestellt. Sind f_h und f_n die Frequenzen der Träger- bzw. der M.sschwingung, U_h und U_n ihre Amplituden, so entsteht durch die M. eine Gesamtschwingung mit dem Frequenzspektrum:
$u = U_h \cdot \sin 2\pi \cdot f_h \cdot t + (U_n/2)\cos 2\pi(f_h - f_n)t - (U_n/2)\cos 2\pi(f_h + f_n)t$.
Bei AM werden demnach neben der Trägerfrequenz f_h 2 *Seitenfrequenzen*, $(f_h - f_n)$ und $(f_h + f_n)$ gebildet, während die M.sfrequenz f_n die Hüllkurve der entstandenen Gesamtschwingung darstellt (Abb. *1*). Ändert sich die M.sfrequenz oder werden z. B. bei Rundfunk oder Funktelefonie zahlreiche M.sfrequenzen gleichzeitig übertragen, so treten 2 *Seitenbänder* an die Stelle der Seitenfrequenzen. Die Breite des für AM benötigten Kanals entspricht somit dem zweifachen Wert der höchsten M.sfrequenz. Diese Beziehung ist u. a. wichtig für Verteilung und Festlegung von Übertragungskanälen. Die zu übertragende Information ist nicht in der Trägerschwingung, sondern vollständig in jedem Seitenband enthalten. Als *M.sgrad m* bez. man das in Prozenten ausgedrückte Verhältnis $m = U_n/U_h$. Für $m = 100\,\%$, den höchsten nutzbaren M.sgrad, schwankt die Amplitude der modulierten Schwingung zwischen 0 und 2 U_h. Für $m > 100\,\%$ (sog. *Über-M.*) ergäben sich starke Verzerrungen. Bei der Übertragung von Sprache oder Musik liegt m meist zwischen 30 und 90 % und schwankt mit der Amplitude (Lautstärke) der M.sschwingung. Die in den Seitenbändern übertragene Leistung ist stets erheblich kleiner als die der Trägerschwingung. Sie hängt von m ab und erreicht im günstigsten Fall ($m = 100\,\%$) je Seitenband 25 % der Leistung der Trägerschwingung.
Kreuz-M. ist eine störende AM, die auftreten kann, wenn sich 2 oder mehr HF-Schwingungen, von denen mindestens eine amplitudenmoduliert ist, an gekrümmten Kennlinien gegenseitig modulieren. Die M. der einen

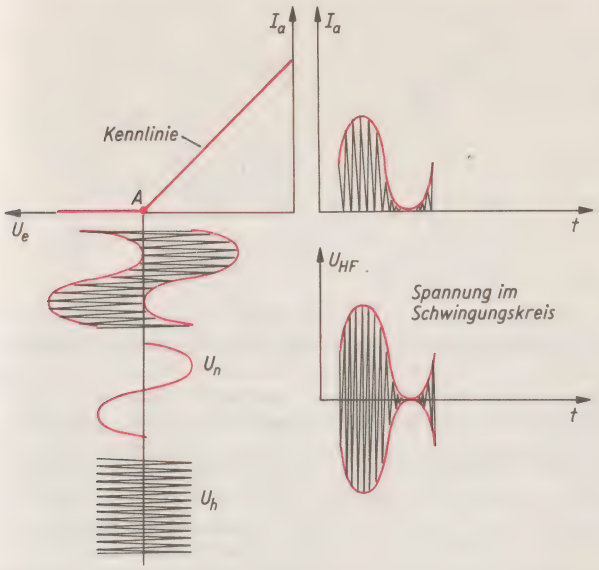


Abb. 2: Amplitudenmodulation mit Hilfe eines Kennlinienknicks

HF-Schwingung wird dabei der anderen aufgeprägt (auch *HF-Übersprechen* genannt). Eine nachträgliche Unterdrückung der störenden M.sfrequenz ist nicht möglich.

AM erfolgt in ↑ Sendern als *Vorstufen-* oder als *Endstufen-M.* Das Zustandekommen der modulierten HF-Schwingungen ist in Abb. *2* für ein Bauelement mit („idealisierter") geknickter Strom-Spannung-Kennlinie dargestellt. Die zugeführten Spannungen, die (HF-)Trägerspannung U_h und die (NF-)M.sspannung U_n schwanken um den Arbeitspunkt *A* im Kennlinienknick. Der Ausgangsstrom I_a besteht aus HF-Halbwellen, deren Amplituden U_n folgen. Wird I_a einem Schwingungskreis zugeleitet, dessen Eigenfrequenz mit derjenigen des HF-Stroms übereinstimmt, so werden im Schwingungskreis modulierte HF-Schwingungen der in Abb. *2* rechts unten dargestellten Form erregt. Für eine gekrümmte Kennlinie ergeben sich ähnliche Verhältnisse.

Bei *Eingangs-M.* (Abb. *3a*) wirkt die M.sspannung U_n am Eingang eines verstärkenden Bauelements. U_h (am Schwingungskreis auftretend) und U_n (an *R* auftretend) steuern den Transistor, in dessen Kollektorkreis die modulierte HF-Ausgangsspannung U_a am Schwingungskreis auftritt. Mit Elektronenröhren wird diese M.sart als *Gitter-M.* (U_h und U_n in Reihe zwischen Steuergitter und Katode) durchgeführt. Bei *Ausgangs-M.* (Abb. *3b*) wird die M.sspannung U_n am Ausgang des verstärkenden

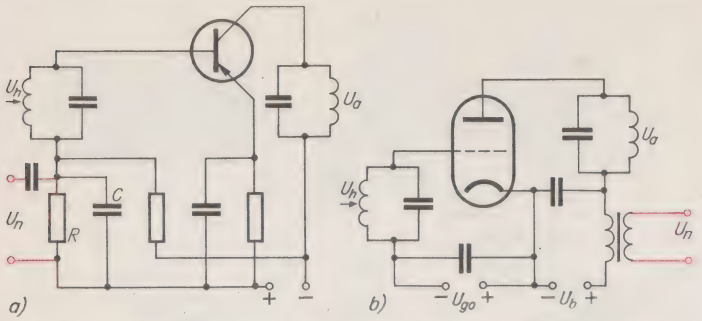


Abb. 3: Modulation am Eingang (*a*) und Ausgang (*b*) eines verstärkenden Bauelements

Bauelements wirksam. Bei der gezeigten *Anoden-M.* wird im Anodenkreis der Elektronenröhre moduliert. U_h liegt zwischen Steuergitter und Katode. Die M. kommt dadurch zustande, daß über den Durchgriff und durch Ändern der Verteilung des Emissionsstroms der Katode auf Gitter und Anode der Arbeitspunkt der Röhre im Takt der M.sspannung verschoben wird. Wird die Endstufe des M.sverstärkers als B-Gegentaktverstärker (vgl. Verstärker 2.2.) geschaltet, so ergibt sich die bes. wirtschaftliche *Anoden-B-M.* Sie wird vor allem in Sendern großer Leistung (Rundfunk, kommerzielle Funkdienste) angewendet.

Die M.sspannung U_n kann einer Elektronenröhre auch über andere Elektroden zugeführt werden. Die daraus resultierenden Verfahren, wie *Schirmgitter-, Bremsgitter-, Katoden-M.* oder Varianten und Kombinationen dieser Methoden, werden vor allem für Sender geringer Leistung angewendet.

Zur Erhöhung des Wirkungsgrads und der Übertragungsqualität wurden Sonderformen der AM entwickelt. So wird bei *Doherty-* und *Taylor-M.* (*Henry Latham Doherty* und *Albert Hoyt Taylor*, amerikanische Physiker) die HF-Leistung durch Aufteilung in 2 getrennt arbeitende Gruppen des Senderverstärkers gewonnen. Die eine stellt die Trägerleistung, die 2. die zusätzliche M.sleistung bereit. Bei kommerziellen Funkdiensten wird häufig *AM mit Trägersteuerung* angewendet. Ihr Grundgedanke besteht darin, die Amplitude der Trägerfrequenz der jeweiligen M.samplitude anzupassen, sich dadurch einem konstanten M.sgrad zu nähern und den Wirkungsgrad eines Senders stets auf annähernd gleicher Höhe zu halten. Man erreicht das durch Anordnungen, die aus der jeweiligen M.samplitude eine Spannung zur Steuerung des Senderverstärkers ableiten.

Bei Einseitenband-M. (↑ Einseitenbandverfahren) wird zunächst die Schwingung der Trägerfrequenz f_h unterdrückt. Dazu dienen M.sschaltungen, in denen z. B. 2 verstärkende Bauelemente so im Gegentakt zusammenwirken, daß sich f_h in ihrem gemeinsamen Ausgang aufhebt,

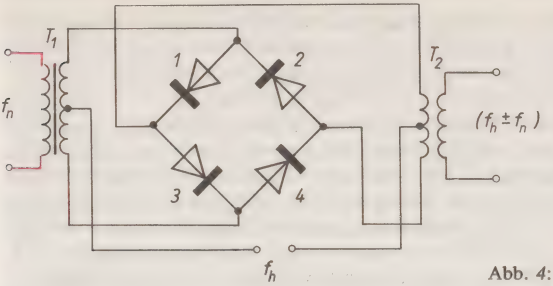


Abb. 4: Ringmodulator

während die Seitenfrequenzen ($f_h \pm f_n$), von denen anschließend eine ausgefiltert wird, erhalten bleiben. – Vor allem für die Trägerfrequenztechnik erlangte der *Ringmodulator* Bedeutung (Abb. 4). Die gegenüber der M.sspannung der Frequenz f_n hohe HF-Spannung der Frequenz f_h wirkt ähnlich wie ein Schalter, der bei jeder Halbwelle der HF-Spannung 2 Diodenstrecken öffnet, die beiden anderen hingegen sperrt (*1* und *4* geöffnet, *2* und *3* gesperrt und umgekehrt). Die Anschlüsse des Eingangs- und des Ausgangstransformators T_1 bzw. T_2 werden im Takt von f_h parallel und über Kreuz geschaltet. f_h hebt sich im Ausgang auf, die Seitenfrequenzen ($f_h \pm f_n$) dagegen können abgenommen werden. Eine ähnlich wirkende M.sanordnung, der *Sternmodulator*, ist so geschaltet, daß die 4 Diodenstrecken einen gemeinsamen Anschluß haben.

2. *Frequenz-M.* wird vor allem im Höchstfrequenzbereich, für den UKW-Rundfunk, für die Übertragung des Fernsehbegleittons und für drahtlose Telefonie-Nahverbindungen angewendet. Die Frequenz f_h der Trägerschwingung wird bei konstant gehaltener Amplitude proportional zur M.sschwingung der Frequenz f_n verändert. Dabei entspricht die Änderungsgeschwindigkeit von f_h der Frequenz der M.sschwingung, die Frequenzabweichung von f_h der Amplitude der M.sschwingung.

Als *Frequenzhub* bez. man die max. auftretende Frequenzabweichung Δf_h. Sie beträgt z. B. beim UKW-Rundfunk ± 50 kHz. Der *M.sindex* ist das Verhältnis des Frequenzhubs zur höchsten M.sfrequenz und wird z. B. für UKW-Rundfunk meist mit 5 : 1 festgelegt. Für FM mit einem M.sindex $\leqq 0{,}5$ (für UKW- und auch KW-Telefonieverbindungen genutzt) ist die Bez. *Schmalband-FM* üblich, während man unter *Breitband-FM* Übertragungen mit einem M.sindex $\gg 1$ versteht. Bei Anwendung der FM werden ebenfalls die Frequenzen f_h und ($f_h \pm f_n$) gebildet. Weitere Seitenfrequenzen ($f_h \pm n \cdot f_n$) – n ganzzahlig – kommen hinzu. Ihre Amplitude hängt vom M.sindex sowie von der Frequenz der M.sschwingung ab und sinkt mit wachsender M.sfrequenz f_n. Für die Übertragung frequenzmodulierter Nachrichten wird daher ein wesentlich breiteres Frequenzband als für eine AM-Übertragung benötigt. Da die Seitenfrequenzen i. allg. vernachlässigt werden können, sofern ihr Abstand von der Trägerfrequenz größer ist als die Summe aus Frequenzhub

und höchster M.sfrequenz, ergibt sich bei Einhaltung eines „Sicherheitsabstands" von 25 kHz an den Grenzen jedes Seitenbands z. B. für einen UKW-Rundfunksender, der M.sfrequenzen bis 15 kHz überträgt, eine Kanalbreite von $2 \cdot (75 + 15 + 25)$ kHz = 230 kHz.

Die mit steigender M.sfrequenz abnehmenden Amplituden der Seitenfrequenzen haben bei der Signalübertragung eine Benachteiligung der hohen Frequenzen zur Folge, wodurch sich der ↑ Störabstand verringert. Die *Akzentuierung* (auch *Preemphasis* genannt) auf der Senderseite beseitigt diesen Mangel durch frequenzproportionales Anheben der Amplituden der hohen M.sfrequenzen oberhalb einer Grenzfrequenz, z. B. mit Hilfe von Widerstand-Kondensator-Gliedern. Auf der Empfängerseite wird die Anhebung durch eine entgegengesetzt wirkende *Deakzentuierung* (auch *Deemphasis* genannt) rückgängig gemacht.

Zur Durchführung der FM wird der frequenzbestimmende Schwingungskreis eines Oszillators, z. B. des Steuersenders, proportional der M.sfrequenz f_n verstimmt. Das geschieht durch spezielle Röhrenschaltungen oder Kapazitätsdioden (↑ Diode 2.). Auf diese Weise wird zunächst ein geringer Frequenzhub bei verhältnismäßig niedriger HF erreicht und dann zusammen mit dieser in den folgenden Stufen vervielfacht.

Weil die Information bei FM ausschl. durch Frequenzänderungen und nicht durch die Amplitude ausgedrückt wird, lassen sich durch ↑ Begrenzer im Empfänger Amplitudenänderungen und damit die meisten Empfangsstörungen unwirksam machen. Da außerdem im UKW-Bereich breite Frequenzkanäle verfügbar sind, kann im Unterschied zu AM bei Rundfunkübertragung höchste Wiedergabequalität erzielt werden. Vorteilhaft ist ferner, daß der Sender unabhängig vom jeweiligen M.sinhalt gleichbleibende Leistung ausstrahlt und auf höchsten Wirkungsgrad eingestellt werden kann.

3. *Phasen-M.* wird ebenfalls im UKW- und Höchstfrequenzbereich, vor allem für Sprechfunkverbindungen, angewendet. Die M.sschwingung verändert den Nullphasenwinkel φ_0 der HF-Schwingung (daher auch Bez. *Nullphasenwinkel-M.*). Die Geschwindigkeit der Phasenänderung hängt von der M.sfrequenz, die Größe der Phasenänderung, gekennzeichnet durch den *Phasenhub*, von der M.samplitude ab. Das Frequenzspektrum bei PM ähnelt demjenigen bei FM; allerdings gelten andere Gesetzmäßigkeiten für die Amplituden der Seitenfrequenzen (keine Abnahme mit wachsender Frequenz). Die Vorteile der FM treffen auch für PM zu.

Im Unterschied zur FM kann man bei PM von einem frequenzkonstanten Oszillator ausgehen. Seine HF-Ausgangsspannung wird geteilt und der eine Teil gegenüber dem anderen durch einen ↑ Phasenschieber um 90° in der Phase gedreht. Die Teilspannungen werden amplitudenmoduliert und danach wieder zusammengesetzt. Dabei entstehen phasenmodulierte HF-Schwingungen, die vervielfacht und verstärkt werden. Im Vergleich zur FM wird PM (u. a. wegen des höheren technischen Aufwandes) relativ selten angewendet.

4. *Puls-* oder *Impuls-M.* beruht auf dem *Abtasttheorem*: Zur Übertragung

einer Schwingung, z. B. eines NF-Signals, genügt es, diese in gleichen Abständen abzutasten, d. h. nur „Proben" in Form kurzer Schwingungsteile als *Puls* zu übertragen, aus denen am Empfangsort das Ausgangssignal wiedergewonnen werden kann. Die Anzahl der Proben je Sekunde, die *Tastfrequenz* f_p, muß die Bedingung $f_p \geqq 2 \cdot f_{max}$ erfüllen, wenn f_{max} die höchste M.sfrequenz ist, d. h., jede Schwingung ist mindestens zweimal abzutasten. Für das im Fernsprechverkehr international festgelegte Frequenzband von 300 bis 3400 Hz wäre also eine Tastfrequenz von mindestens 6,8 kHz nötig; aus technischen Gründen wählt man sie zu $f_p = 8$ kHz.

Die *Impulsbreite* (meist < 1 μs) ist klein gegenüber der *Periodendauer* $T = 1/f_p$ (bei $f_p = 8$ kHz z. B. $T = 125$ μs). Daher weist jeder Puls relativ große Lücken auf. Sie werden für die Einordnung weiterer Pulse und damit weiterer Signale genutzt (*Zeit-Multiplex*). Es werden jeweils der 1. Impuls des 1., dann der 1. Impuls des 2. Pulses usw. abgetastet und übertragen, nach Abtasten sämtlicher Signale der 2. Impuls des 1. Pulses, der 2. des 2. usw.

Die Breite des für Puls-M. benötigten Frequenzbands hängt vom Impulsabstand (bei Ineinanderschachteln mehrerer Pulse von einem Impuls zum unmittelbar folgenden), der Impulsform, z. B. rechteck- oder glockenförmig, und der Impulsbreite, verglichen mit dem Impulsabstand, ab. Sie erreicht Werte bis zu mehreren 10 MHz. Puls-M. ist daher i. allg. nur über Trägerfrequenzen im UHF-Bereich möglich. Die Arten der Puls-M. werden danach unterschieden, welche charakteristische Größe der Impulse entspr. der zu übertragenden Nachricht verändert wird (Abb. 5).

4.1. *Pulsamplituden-M.* (Abk. *PAM*) ist dadurch gekennzeichnet, daß die Pulsamplitude im M.srhythmus verändert wird. Für die eigentliche Signalübertragung wird PAM nur selten angewendet, da sämtliche Störun-

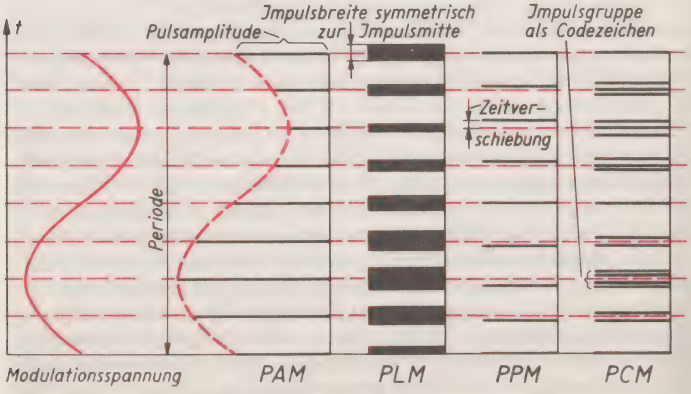


Abb. 5: Impulse bei gebräuchlichen Verfahren der Pulsmodulation

gen mit Amplitudencharakter sich auf die Übertragungsqualität auswirken und der Sender mit schlechtem Wirkungsgrad arbeitet. Dagegen bildet PAM meist eine Zwischenstufe bei anderen Verfahren der Puls-M.

4.2. *Pulslängen-M.* (Abk. *PLM*, auch *Pulsbreiten-M.* genannt) ist daran erkennbar, daß die Impulsbreite im M.srhythmus verändert wird. Neben der in Abb. *5* gezeigten Möglichkeit, sie symmetrisch zur Impulsmitte zu verändern, kann auch die Vorder- oder Rückenflanke des Impulses als Zeitmarke dienen. Auch PLM wird, u. a. wegen des unbefriedigenden Senderwirkungsgrads, kaum eingesetzt.

4.3. *Pulsphasen-M.* (Abk. *PPM*, auch *Pulslage-M.* genannt) ist die gegenwärtig verbreitetste Art der Puls-M. für die gleichzeitige Übertragung zahlreicher Ferngespräche oder zur Weiterleitung von Rundfunkprogrammen über Richtfunkstrecken. Sie ist dadurch charakterisiert, daß Impulse gleicher Amplitude und Breite proportional dem zu übertragenden Signal zeitlich gegenüber ihrer Lage bei fehlender M. verschoben werden. Gegen Amplitudenschwankungen und Störungen (vgl. 2.) kann die Übertragung weitgehend unempfindlich gemacht werden; der Sender arbeitet mit gutem Wirkungsgrad. Außerdem können Pulse und damit Nachrichtenkanäle verhältnismäßig leicht (z. B. an Relaisstationen einer Richtfunkstrecke) abgezweigt werden. PPM ist daher gut für den Aufbau von Richtfunknetzen geeignet.

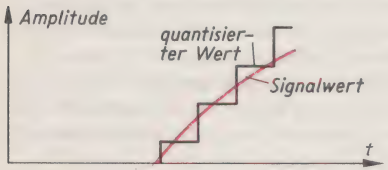


Abb. *6*: Quantisierung eines Signals (*rot*) in Amplitudenstufen für Pulscodemodulation

4.4. *Pulscode-M.* (Abk. *PCM*) gilt insbes. für gleichzeitige Übermittlung zahlreicher Kanäle über große Entfernung (Richtfunkstrecken mit zahlreichen Relaisstationen, Verbindung mit und über Nachrichtensatelliten) als bes. geeignet. PCM verzichtet auf die Übertragung einer den Signalamplituden proportionalen Größe. Statt dessen werden die Amplitudenwerte durch verabredete Codezeichen ersetzt. Das ist möglich, weil keine unendlich große Anzahl von verschiedenen Amplitudenwerten unterschieden werden muß. Vielmehr genügt eine Quantisierung (Abb. *6*), die den Schwingungsverlauf durch eine treppenähnliche Funktion aus Amplitudenstufen ersetzt, wobei Zwischenwerte durch die jeweils nächste Stufe dargestellt werden. Jeder Amplitudenstufe wird als Codezeichen eine Impulsgruppe zugeordnet, die ähnlich wie das z. B. für Fernschreibverbindungen übliche binäre System („Strom vorhanden/Strom nicht vorhanden") nach dem Prinzip „Impuls/Lücke von Impulsbreite" aufgebaut ist. Für die zu einwandfreier Sprachübertragung nötigen 200 Amplitudenstufen (100 je Halbwelle) genügen Impulsgruppen aus

8 Elementen ($2^8 = 256$). Die Impulsgruppen werden übertragen und am Ende der Übertragungsstrecke decodiert, d. h. in Amplitudenwerte rückverwandelt, aus denen daş urspr. Zeichen gewonnen wird.
Hauptvorzug der PCM ist, daß zur Informationsübermittlung lediglich nach Impuls und Lücke unterschieden wird. Verformungen der Impulse durch Störungen, Nichtlinearitäten der Übertragungsglieder o. a. wirken sich kaum aus; außerdem können in den Zwischenstationen einer Übertragungsstrecke verformte Impulse regeneriert, d. h. in ihre urspr. Form zurückverwandelt, werden. Weitere Vorteile der PCM sind, daß sie aufgrund der binären Codierung leicht den Erfordernissen der EDV anzupassen ist, teilweise die Anwendung in der EDV-Technik erprobter Baugruppen und Verfahren sowie hohen Senderwirkungsgrad ermöglicht. Auch ein Wechsel der Codierung, z. B. für Zwecke der Geheimhaltung oder zur Zusammenschaltung verschiedener Codesysteme, ist einfach.
4.5. *Delta-M.* wird gegenwärtig erprobt. Die M.sschwingungen werden ebenfalls quantisiert, doch überträgt man keine den Amplitudenstufen entspr. Signale, sondern solche, die die Richtung der Amplituden ä n d e r u n g von Stufe zu Stufe angeben (z. B. Impuls = Amplitudenzunahme, kein Impuls = Amplitudenabnahme). Aus ihnen läßt sich am Empfangsort das urspr. Signal mit großer Näherung wiedergewinnen.
Zur Durchführung der Puls-M. werden die zu übertragenden Signale durch eine elektronische Schaltvorrichtung nacheinander abgetastet. Dabei entstehen amplitudenmodulierte Pulse. Sie werden im *Pulswandler* (ihm entspricht auf der Empfängerseite ein *Pulsrückwandler*) der gewünschten M.sart entspr. umgesetzt. Ein bei PPM oft benutzter Pulswandler läßt z. B. durch jeden bei der Abtastung entstandenen Impuls I_p einen verzögerten Impuls I_v auslösen, wobei der Betrag der Verzögerung von I_v ein Maß für die Amplitude von I_p, I_v also gegenüber seiner Lage bei fehlender M. um einen entspr. Betrag verschoben ist. Bei PCM werden die Impulsgruppen häufig mit Hilfe einer ↑ Codierröhre gewonnen. Zur Synchronisierung von Sender und Empfänger müssen außerdem Synchronisierimpulse (vgl. z. B. Fernsehnorm) zugesetzt werden. Mit den hinter dem Pulswandler verfügbaren Impulsen wird der UHF-Sender moduliert.
Modultechnik: um 1950 entwickeltes Verfahren zur Miniaturisierung elektronischer Geräte. Ein Modul wurde aus übereinander gestapelten Keramikplättchen einheitlicher Größe zusammengesetzt, deren jedes ein oder auch mehrere Bauelemente trug. Leitende Verbindungen zwischen Bauelementen bzw. diese selbst wurden aufgedruckt oder eingebrannt und führten zu metallisierten Kerben am Plättchenrand. In diese wurden Steigdrähte eingelegt und mit den Kerben zur Verbindung der Plättchen verlötet. Bestückung und Prüfung der Plättchen erfolgten teilweise automatisch. Der geprüfte Modul wurde luft- und feuchtigkeitsdicht umhüllt. Noch ehe die M. – mit Röhren und Halbleiterbauelementen bestückt – weltweite Bedeutung erlangte, begann die Massenfertigung von ↑ integrierten Schaltungen. Daher stellte auch die mit Bauelementen der Halb-

leitertechnik entwickelte Mikro-M. nur eine inzwischen überholte Lösung dar, an deren Stelle Schaltkreise der ↑ Mikroelektronik getreten sind.

Mögel-Dellinger-Effekt ↑ Ionosphäre.

Molekularverstärker: 1. ↑ Laser. – **2.** ↑ Maser.

Moleküluhr ↑ Atomuhr.

„Molnija": 1. ↑ Nachrichtensatellit. – **2.** ↑ „Orbita"-System.

Monitor *m*: Spezialfernsehempfänger mit bes. hochwertiger Bildqualität für Regie- und Kontrollzwecke, z. B. zur Kontrolle des vom Sender ausgestrahlten Bildes oder zur Wiedergabe bzw. Auswahl der von mehreren Kameras aufgenommenen Bilder; er zeigt ferner bei Reportagen dem Sprecher den von der Kamera erfaßten Ausschnitt seines Gesichtsfelds und ist, in kleiner Form, häufig auch ein Teil des Kamerakopfs einer ↑ Fernsehkamera.

Monoskop: spezielle Bildaufnahmeröhre der Fernsehtechnik zur Abtastung und Übertragung eines feststehenden, häufig benutzten Bildes, z. B. eines Testbildes oder Pausenzeichens. Das zu übertragende Bild ist auf einem Schirm im M. mit einem Material (z. B. Graphit) fixiert, dessen Ausbeutefaktor der Sekundäremission (↑ Elektronenemission) sich vom übrigen Schirmmaterial (z. B. Aluminium) unterscheidet. Aus diesem Unterschied werden beim zeilenweisen Abtasten durch einen Elektronenstrahl Bildsignale gewonnen.

Morsetaste, elektronische: Einrichtung zum Erleichtern des Tastens von Morsezeichen, in der durch Impulsgeber eine Punkt- und eine Strichreihe erzeugt werden. Strich- und Punktlängen sowie ihre Abstände werden selbsttätig in dem durch den Morsecode vorgeschriebenen Verhältnis gehalten. Beim Tasten wird ein Handhebel hin- und herbewegt. Er löst bei Bewegung nach der einen Seite Punkte, bei Bewegung nach der anderen Striche aus, deren jeweilige Anzahl durch die Dauer des Hebeldrucks bestimmt wird. Punkte und Striche müssen also nicht einzeln vom Funker getastet werden. Die e. M. gewährleistet eine gleichmäßige Zeichengebung. Die Gebegeschwindigkeit kann eingestellt und den Verkehrsbedingungen angepaßt werden.

MOSFET ↑ Transistor.

MOS-Technik ↑ Schaltkreis.

MSFET ↑ Transistor 2.

MSI ↑ Halbleiterblocktechnik.

MTI ↑ Radar.

MUF ↑ Ionosphäre.

Multiplier ↑ Sekundärelektronenvervielfacher.

Multivibrator [lat., svw. Vielfachschwinger]: Schaltung nach dem Prinzip eines rückgekoppelten ↑ Verstärkers mit RC-Kopplung zum Erzeugen rechteckiger Ausgangsspannungen bzw. -impulse im Frequenzbereich zwischen wenigen Hertz und einigen Megahertz. Im M. sind 2 aktive Bauelemente (heute meist Halbleiterbauelemente) so zusammengeschaltet, daß abwechselnd jeweils im Ausgangskreis des einen Strom fließt, in demjenigen des anderen nicht. Der Ausgang des M. nimmt stets einen

von 2 möglichen Zuständen an (Ausgangssignal vorhanden oder nicht vorhanden, „H" oder „L"). Man unterscheidet M.en in ihrer Funktionsweise danach, unter welchen Bedingungen das Ausgangssignal auftritt bzw. sich wiederholt.

1. Der *monostabile M.* oder *Univibrator* „kippt" bei Eintreffen eines äußeren Steuerimpulses aus dem Ausgangszustand in den entgegengesetzten Schaltzustand und kehrt nach einer Zeitspanne, deren Dauer nicht vom auslösenden Signal, sondern von den elektrischen Parametern der Schaltung bestimmt wird, selbsttätig in den Ausgangszustand zurück, hat also nur einen stabilen Zustand („mono-"). Jeder Steuerimpuls löst demnach einen Ausgangsimpuls aus. In Abb. *1* erhält der Transistor T_1 über den Basiswiderstand R_{B1} eine negative Basisvorspannung und leitet daher; die Basis des Transistors T_2 erhält über den Basiswiderstand R_{B2} und den zum Kollektor von T_1 führenden Widerstand zunächst eine solche Basisvorspannung, daß T_2 sperrt. Hebt ein der Basisvorspannung von T_1 entgegengerichteter, positiver Steuerimpuls diese auf, so wird T_1 gesperrt; der Kondensator C_{B2} wird aufgeladen. Die sich infolgedessen

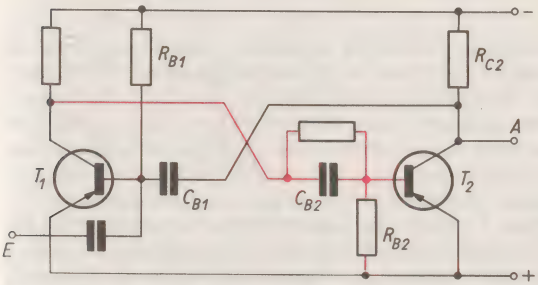


Abb. *1*: Monostabiler Multivibrator

an der Basis des Transistors T_2 einstellende Spannung öffnet T_2. Über T_2 fließt Strom, bis der Kondensator C_{B2} entladen und der Ausgangszustand wieder erreicht ist. Die Rückkopplung über C_{B1} begünstigt den Kipp- und Rückkippvorgang. Der nahezu rechteckige Ausgangsimpuls kann am Punkt *A* abgenommen werden. Der monostabile M. wird vor allem als Impulsformer eingesetzt (vgl. Impuls), z. B. wenn unabhängig von Form und Amplitude der Eingangsimpulse untereinander völlig gleiche Ausgangsimpulse benötigt werden.

2. Der *bistabile M.*, lautmalend (etwa wie deutsch „Klipp-Klapp"), auch *Flip-Flop* bzw. nach den Konstrukteuren *Eccles-Jordan-Schaltung* genannt, kippt ebenfalls bei Eintreffen eines Steuerimpulses in den jeweils entgegengesetzten Schaltzustand, verharrt aber in diesem, bis der nächste Impulse ihn zurückkippt. Er kann zwei stabile Zustände („bi-") einnehmen. In Abb. *2* werden den Steuergittern der Röhren (Trioden) $R\ddot{o}_1$

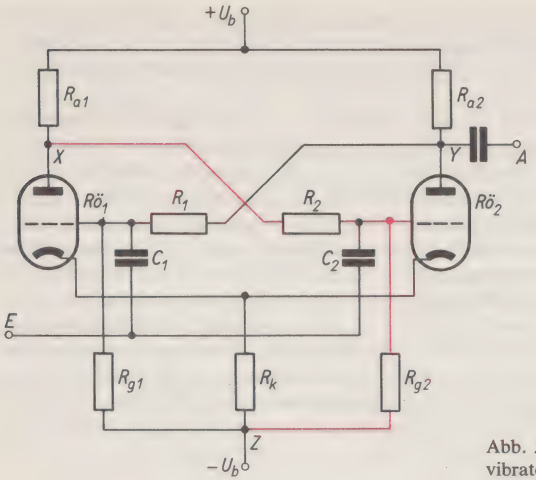


Abb. 2: Bistabiler Multivibrator

und $Rö_2$ Steuerimpulse gleichzeitig so gerichtet zugeführt, daß sie die mittels des Katodenwiderstands R_k gewonnene negative Gittervorspannung vergrößern. Im Anfangszustand möge $Rö_1$ „sperren", $Rö_2$ dagegen für Anodenstrom „geöffnet" sein. Ein Steuerimpuls wirkt sich auf die sperrende Röhre nicht aus, vergrößert aber die negative Gittervorspannung von $Rö_2$. Dadurch sinkt der Anodenstrom von $Rö_2$, und wegen des nunmehr geringeren Spannungsabfalls an R_{a2} steigt die Spannung zwischen den Punkten Y und Z. Die negative Gittervorspannung von $Rö_1$ verringert sich, und durch diese Röhre beginnt Anodenstrom zu fließen. Wegen des steigenden Spannungsabfalls an R_{a1} sinkt die Spannung zwischen den Punkten X und Z, und die negative Gittervorspannung von $Rö_2$ wächst weiter. Dies setzt sich fort, bis $Rö_1$ vollen Anodenstrom führt, $Rö_2$ hingegen sperrt. Beim nächsten Steuerimpuls erfolgt ein Rückkippen, und der Vorgang beginnt von neuem. Werden die Elektronenröhren durch Transistoren oder z. B. durch Kaltkatodenröhren ersetzt, geschehen Kippen und Rückkippen entspr. Der bistabile M. wird in seiner Schaltung häufig variiert, z. B. mit getrennten Eingängen für Kippen und Rückkippen versehen. Eine Impulsfolge, die (wie in der Abb. 2) beiden aktiven Bauelementen gleichzeitig über den Eingang E zugeführt wird, löst Ausgangsimpulse der halben Impulsfolgefrequenz aus; sie können am Punkt A abgenommen werden. Diese Untersetzung läßt sich durch nachgeschaltete weitere bistabile M.en fortsetzen. Erhält jedes aktive Bauelement einen bes. Eingang, dann kann der bistabile M. durch 2 getrennte Impulsfolgen gesteuert werden. Die eine schaltet ihn in den einen, die andere in den 2. stabilen Zustand.

Die Widerstände R_1, R_2, R_{g1}, R_{g2} dienen zusammen mit R_k der Einstel-

lung der richtigen, auch von der Betriebsspannung U_b abhängigen Gitterspannung, die Kondensatoren C_1 und C_2 trennen den Eingang für Gleichstrom von den aktiven Bauelementen, lassen aber die Impulse passieren. – Der bistabile M. ist insbes. als integrierte Schaltung, da er einen von 2 Zuständen (z. B. als „L" oder „H" interpretiert) speichern und Ausgangssignale in Abhängigkeit vom Eingangssignal weiterleiten kann, eine der wichtigsten Grundschaltungen der EDV-Technik. Er wird ferner für den Aufbau von ↑ Zählschaltungen und ↑ Frequenzteilern verwendet.

3. Der *astabile M.* erzeugt ohne Zuführung äußerer Steuerimpulse selbsttätig eine nahezu rechteckige Ausgangsspannung. Ihre Zerlegung in Sinusschwingungen (vgl. Schwingung) ergibt ein sehr oberwellenreiches, aus vielen Einzelschwingungen zusammengesetztes Spektrum (daher stammt die Bez. M.). Abb. *3* zeigt eine von zahlreichen möglichen Schaltungsvarianten. Trotz völlig symmetrischen Aufbaus ist wegen der unvermeidlichen Streuung der Bauelementedaten eine völlig elektrische Symmetrie nicht zu erreichen. Angenommen, der rot gekennzeichnete

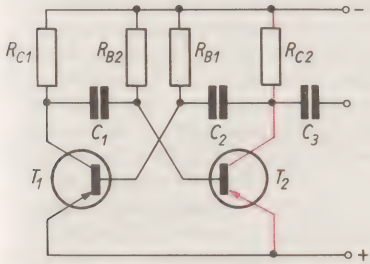


Abb. *3*: Astabiler Multivibrator

Stromkreis des Transistors T_2 habe im Anfangszustand einen etwas höheren Widerstand als der entspr. Stromkreis des Transistors T_1. Dann ist beim Einschalten der Strom über T_1 und den Kollektorwiderstand R_{c1} stärker als derjenige über T_2. Durch das Einschalten gelangt ein positiver Spannungsstoß über C_1 an die Basis von T_2 und sperrt diesen. Der Kondensator C_1 entlädt sich über den Widerstand R_{B2}, die positive Spannung an der Basis von T_2 wird abgebaut, und schließlich beginnt T_2 erneut zu leiten. Damit gelangt über den Kondensator C_2 ein positiver Spannungsstoß an die Basis des Transistors T_1 und sperrt ihn. Diese Vorgänge wiederholen sich, solange die Betriebsspannung anliegt. Die Frequenz der Ausgangsspannung wird durch die Kondensatoren C_1 und C_2 sowie durch die Widerstände R_{B1} und R_{B2} bestimmt. Je nach deren Wahl erreicht man einen symmetrischen oder unsymmetrischen Spannungsverlauf.

Werden dem astabilen M. äußere Steuerimpulse zugeführt, dann kann er mit einer gegebenen Frequenz oder einem ganzzahligen Teil oder Vielfachen davon synchronisiert werden. Sonderformen des astabilen M.,

z. B. das *Phantastron*, enthalten nur e i n e Mehrgitter-Elektronenröhre, z. B. eine Pentode statt 2 Transistoren. Astabile M.en werden als Erzeuger für Rechteckspannungen oder oberwellenreiche Schwingungen (z. B. in der Meßtechnik) angewendet.

MUSA-System [Abk. von engl. *M*ultiple *U*nit *S*teerable *A*ntenna, etwa Mehrfachantennenanordnung mit steuerbarer Richtcharakteristik]: Verfahren des KW-Fernverkehrs zur Bekämpfung von ↑ Schwund aufgrund der Erscheinung, daß interferierende Wellenzüge die Antenne meistens unter verschiedenen Einfallswinkeln erreichen. Mehrere Antennen werden über ↑ Phasenschieber so verbunden, daß sich eine in der Vertikalen schwenkbare Richtcharakteristik ergibt. Sie wird auf den Einfallswinkel der jeweils am stärksten einfallenden Wellenzüge eingestellt. Das M. wird im Verkehr zwischen Großstationen und zur Messung von Einfallswinkeln in der Ionosphärenforschung angewendet.

Musikinstrumente, elektronische: Musikinstrumente, deren Töne über einen Verstärker und Lautsprecher wiedergegeben werden, während zur Tonerzeugung ↑ Oszillatoren oder Mittel der Elektroakustik dienen. Nach Art und Ausführung der e. M. ist die Wiedergabe jeweils eines Tones oder die gleichzeitige Wiedergabe mehrerer Töne möglich.

Voll-e. M. (z. B. elektronische Orgeln) enthalten für jeden Ton der höchsten wiederzugebenden Oktave einen Tonfrequenzgenerator, der eine meist sinusförmige Spannung liefert. Sie steuert eine sog. Teilerkaskade zur Gewinnung der jeweils um eine und mehrere Oktaven tieferen Töne. Die Stufen der Teilerkaskade sind, um oberschwingungsreiche Töne zu erhalten, mit Sägezahn- oder Rechteckgeneratoren ausgerüstet, deren Frequenz von Stufe zu Stufe halbiert wird. Jeder Sägezahngenerator wird durch den vorangegangenen synchronisiert. Die Tonfrequenzspannungen an den Ausgängen der Teilerstufen werden z. B. mit Klaviertasten an den gemeinsamen NF-Verstärker geschaltet. Der Klang eines Tones ist weitgehend durch Anzahl und Anteil der Oberschwingungen bestimmt. Deshalb werden in den Weg der Tonfrequenzsignale *Klangfarbenfilter* geschaltet, z. B. Widerstand-Kondensator-Glieder, mit denen sich bestimmte Frequenzlagen des Oberwellengemischs hervorheben oder zurückdrängen lassen. Auf diese Weise ist es möglich, mit e. M. den Klang der meisten Instrumente zu imitieren und neuartige Klangeffekte zu erzielen. Daneben enthalten sie weitere elektronische Hilfsmittel, z. B. eine Vibrato-Einrichtung, stetig veränderbare Filter, mit denen ein „Glissando" erreicht wird, eine Vorrichtung zum Erzeugen von „Hall" u. a. Andere e. M. gehen von 2 geringfügig gegeneinander verstimmten Oszillatoren aus, deren Ausgangsspannungen zum Erzeugen von Schwebungen im Tonfrequenzbereich genutzt werden. Der Aufwand an diskreten elektronischen Bauelementen läßt sich heute durch den Einsatz von integrierten Schaltungen verringern.

Zu den *e. M. auf elektroakustischer Grundlage* zählen z. B. ↑ Tonabnehmer für Gitarren und Schlagbässe, bei denen die schwingenden Stahlsaiten in einer Spule Tonfrequenzspannungen induzieren. Diese werden

verstärkt und vom Lautsprecher als Töne wiedergegeben. Andere e. M. auf dieser Grundlage erzeugen Tonfrequenzschwingungen, die ausschl. über den elektroakustischen Übertragungskanal hörbar werden und sich infolgedessen im Klang ähnlich wie die Töne voll-e. M. beeinflussen lassen.
E. M. haben, bes. in vollelektronischer Ausführung, in den letzten Jahren vor allem Verbreitung im Bereich der Tanz- und Unterhaltungsmusik gefunden. Die durch sie ermöglichten Klangeffekte werden auch beim Tonfilm, beim Rundfunk und beim Fernsehen ausgenutzt.
MUX ↑ Funkfernschreiben.

N

Nachbeschleunigungselektrode ↑ Oszillographenröhre.
Nachleuchten ↑ Bildschirm.
Nachrichtensatellit: unbemannter, künstlicher Erdsatellit, eingesetzt als Relaisstation für drahtlose Fernsprech-, Fernschreib-, Telegrafie-, Hörfunk-, Bildfunk-, Fernseh- und Datenfernübertragung, zunehmend auch für gleichzeitige Erfüllung anderer Aufgaben, z. B. Übermittlung fotografischer Aufnahmen der Erdoberfläche (vgl. Wettersatellit). Einteilung der N.en geschieht 1. nach Art der Signalübertragung und 2. nach der Flugbahn.
1.1. *Passive N.en* (z. B. Typ „Echo", USA) sind lediglich Umlenkspiegel für Höchstfrequenzen, ausgeführt als in der Umlaufbahn aufgeblasene Ballone von z. B. 40 m Durchmesser mit metallisierter Außenfläche. Sie enthalten keine elektronische Ausrüstung. Daraus folgen geringe Störanfälligkeit, hohe Lebensdauer, Eignung für Übertragung verschiedener Frequenzen (solange der Durchmesser wesentlich größer als die Wellenlänge ist). Nachteile sind die geringe rückgestrahlte Leistung, die dadurch bedingte Notwendigkeit sehr leistungsstarker Sender und extrem empfindlicher Empfänger in den Bodenstationen sowie die Begrenzung der Flughöhe auf einige 10^3 km.
1.2. *Aktive N.en* (z. B. Typ „Molnija", UdSSR) enthalten elektronische Einrichtungen, die die Signale der Bodenstationen empfangen, auf eine andere Frequenz umsetzen und verstärkt zur Erde zurückstrahlen. Ihr entscheidender Vorteil gegenüber passiven N.en ist die bessere Leistungsbilanz der Übertragung. Die meisten N.en sind vom aktiven Typ.
2.1. *Nichtsynchrone (nichtstationäre)N.en* (z. B. Typ „Telstar", USA, „Molnija", UdSSR) umlaufen die Erde auf Bahnen, die (mit periodischer Wiederholung) ständig über andere Punkte der Erdoberfläche führen. Zwischen 2 Bodenstationen ist nur Verbindung möglich, solange der N. für beide über dem Horizont steht. Zur kontinuierlichen Nachrichtenübertragung ist daher ein Netz mit mehreren nichtsynchronen N.en er-

forderlich. Der Aufwand in den Bodenstationen ist groß, da u. a. die Antennen der Satellitenbahn ständig nachgeführt werden müssen und zur Verkehrsübernahme zwischen einem „aufgehenden" und einem „untergehenden" N.en je Station 2 Antennen erforderlich sind.

2.2. *Synchronsatelliten* (*geostationäre N.en*) durchlaufen eine annähernde Kreisbahn in der Äquatorebene (Flughöhe etwa 35 800 km) und stehen daher ständig über dem gleichen Punkt der Erdoberfläche (z. B. N. „Raduga" der UdSSR und N.en des Systems „Intelsat"). Ein ununterbrochener Nachrichtenaustausch mit mehreren Bodenstationen ist möglich. Geringfügige Bahnabweichungen (z. B. durch Einflüsse von Sonne und Mond) werden durch Steuerdüsen an Bord korrigiert. Mit 3 Synchronsatelliten läßt sich ein Nachrichtennetz aufbauen, das 95 % der Erdoberfläche erfaßt (Polgebiete entfallen), doch macht sich bei manchen Anwendungen (Ferngespräche, Datenfernübertragung) die Signallaufzeit störend bemerkbar (bei etwa 75 000 km Signalweg zwischen 2 Bodenstationen 0,25 s).

N.en sind heute in N.ensystemen zusammengefaßt (z. B. Intelsat-System, ↑ „Orbita"-System) und übernehmen einen rasch wachsenden Teil der interkontinentalen Weitverkehrsverbindungen. Verkehr ist i. allg. von jeder Bodenstation zu jeder anderen möglich, verschiedene Nachrichtenverbindungen können unabhängig voneinander über einen N. betrieben werden (*Vielfachzugriff*). Gegenwärtig können über einen N. gleichzeitig >9000 Telefongespräche oder z. B. 12 Farbfernsehprogramme übertragen werden.

Für den Verkehr über N.en wurden international Frequenzbänder zwischen 3,4 und 8,4 GHz vereinbart; weitere Frequenzbänder, auch im m-Wellenbereich, dienen der Bahnverfolgung sowie zur Meßwert- und Kommandoübertragung. Die Bordgeräte sind bis auf ↑ Wanderfeldröhren in den Senderendstufen halbleiterbestückt, die Sendeleistung erreicht etwa 100 W. Die Stromversorgung geschieht durch ↑ Sonnenbatterien im ↑ Pufferbetrieb. Die Richtantennen werden selbsttätig ständig zur Erde orientiert.

Die Antennen der Bodenstationen haben Durchmesser von 15 ··· 30 m. In den Eingangsstufen der Empfänger werden ↑ Maser oder parametrische Verstärker eingesetzt. Die Sendeleistung wird von einer Wanderfeldröhre oder einem ↑ Klystron bereitgestellt (bis zu einigen 10 kW). Vgl. Satellitenfernsehen, „Orbita"-System.

Nachteffekt ↑ Peilanlage.

Nachtsichtgerät ↑ Bildwandler(röhre).

Nahechodämpfung ↑ Radar.

NAND-Schaltung ↑ logische Grundschaltungen.

Navigationsechograph ↑ Ultraschallortung.

Navigationssatellit: unbemannter künstlicher Erdsatellit für Zwecke der Funkortung und -navigation in See- und Luftfahrt sowie bei See- und Luftstreitkräften. Die bisher bekanntgewordenen N.en (z. B. des „Transit"-Systems der USA) arbeiten auf der Grundlage des ↑ Doppler-

Effekts. Ihr ständig oder periodisch strahlender, sehr frequenzkonstanter Sender wird an Bord der Schiffe und Flugzeuge empfangen, die durch den Doppler-Effekt verursachte Frequenzänderung nach Größe und zeitlichem Verlauf bestimmt. Die Resultate sind Ausgangsdaten der Standortbestimmung und werden einem Bordrechner zugeleitet. Die geringfügigen Schwankungen unterworfenen Satellitenbahnen werden von Beobachtungsstationen ständig vermessen. Die so erhaltenen jeweiligen Bahnparameter werden den N.en drahtlos übermittelt, von diesen periodisch dem Bordempfänger zugestrahlt und von diesem ebenfalls dem Bordrechner eingegeben. Er errechnet den Standort des Schiffs oder Flugzeugs. Die Ortungsgenauigkeit beträgt bis zu wenigen 100 m.
N.en wurden zunächst (ab 1960) für militärische Zwecke entwickelt und gestartet und können erst seit kurzem auch von zivilen Wasser- und Luftfahrzeugen ausgenutzt werden. Andere Verfahren beruhen auf der Verfolgung von N.en mit ↑ Radiosextanten oder auf dem Arbeitsprinzip des Sekundär-↑ Radar.

NDB ↑ Funkfeuer.

Negation ↑ logische Grundschaltungen.

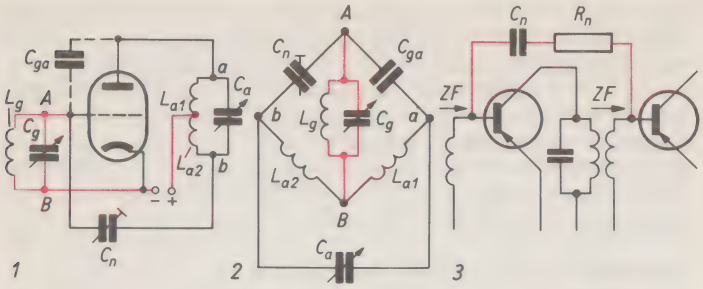
Negativmodulation ↑ Fernsehnorm.

Netzanschlußteil, *Netzgerät*: Baugruppe zur Stromversorgung elektronischer Geräte und Anlagen aus dem Energienetz. N. für den Anschluß an ein Wechselstromnetz enthalten meistens einen Netztransformator, gleichrichtende Bauelemente und Siebketten (vgl. Gleichrichter). Häufig sind N. mit zusätzlichen Gliedern zur ↑ Spannungsstabilisierung und bzw. oder -teilung ausgestattet. Ihr Aufbau unterliegt Sicherheits- und Prüfbestimmungen, die eine Gefährdung der Benutzer ausschließen.

Netztransformator: Transformator, der in elektronischen Geräten die benötigten Spannungen bereitstellt und außerdem für die erwünschte, oft vorgeschriebene galvanische Trennung zwischen Gerät und Stromversorgungsnetz sorgt (Ausschaltung einer Gefahrenquelle!). Die Primärseite des N. enthält eine Wicklung mit Anzapfungen für den Anschluß des Geräts an verschiedene Netzwechselspannungen. Auf der Sekundärseite sind meist mehrere Wicklungen vorhanden, die voneinander unabhängige Spannungen abgeben (z. B. Heiz- und Anodenspannung für Röhrengeräte).

9-kHz-Sperre ↑ Tonselektion.

Neutralisation: schaltungstechnische Maßnahme, die z. B. in HF-Verstärkern ↑ Rückkopplung vom Ausgang auf den Eingang und damit die Gefahr der Selbsterregung vermeidet. Prinzip der N. ist es, die z. B. über die Gitter-Anoden-Kapazität einer Triode (vgl. Elektronenröhre) oder über die Kapazität zwischen Basis und Kollektor eines Transistors auf den Eingang rückgekoppelte Wechselspannung durch eine gleichgroße, gegenphasige Hilfsspannung am Verstärkereingang zu kompensieren. Die meisten N.sschaltungen sind Brückenschaltungen. In Abb. *1* z. B. ist die Spule des Anodenschwingungskreises C_a/L_a angezapft und dieser Punkt wechselspannungsmäßig mit der Katode verbunden. Daher führen die



Neutralisierte HF-Verstärkerstufe, *1* Schaltung, *2* Ersatzschaltbild, *3* Neutralisation einer transistorisierten ZF-Verstärkerstufe

Punkte *a* und *b* bezogen auf die Katode (Punkt *B*) gegenphasige Wechselspannungen. Infolgedessen läßt sich die Wechselspannung zwischen Punkt *b* und Katode (*B*) über den Neutralisationskondensator C_n als Neutralisationsspannung für die über C_{ga} (s. u.) rückgekoppelte Wechselspannung verwenden. Das Ersatzschaltbild *2* läßt die Brückenschaltung erkennen. Bei gegebener Gitter-Anoden-Kapazität C_{ga} kann C_n so eingestellt werden, daß zwischen den Endpunkten *A* und *B* der Brükkendiagonale keine vom Ausgangskreis rückgekoppelte Spannung auftritt. Abb. *3* zeigt eine Möglichkeit für die N. einer transistorisierten ZF-Verstärkerstufe. Um die richtige Phasenlage für die N. zu erhalten, ist die Sekundärwicklung des Bandfilters gegensinnig zur Primärwicklung zu polen. Die N. wird vor allem in Senderverstärkern, UHF-Vorstufen und in transistorisierten ZF-Verstärkern angewendet.

NICHT-Glied ↑ logische Grundschaltungen.

Nipkowscheibe: von dem Techniker *Paul Nipkow* 1883 erfundene Kreisscheibe (mit Löchern auf Spiralbahnen) zum zeilenweisen Zerlegen (Abtasten) und Zusammensetzen von Bildern für Fernsehen und Bildfunk. Die N. rotierte auf der Senderseite zwischen der Bildvorlage und einer Fotozelle, auf der Empfängerseite zwischen einer großflächigen Glimmlampe und dem Auge des Beobachters und tastete dabei Bildvorlage bzw. Glimmlampenfläche Punkt für Punkt zeilenweise ab. Die N. wurde für die ersten Fernsehversuche verwendet, nach 1930 jedoch durch elektronische Aufnahme- und Wiedergabeverfahren abgelöst.

***n*-Leitung** ↑ Halbleiter.

Normalfrequenzsender: Sender, der für Meß- und Eichzwecke Frequenzen bes. hoher Genauigkeit und Konstanz (Abweichungen max. $\pm 2 \cdot 10^{-8}$ der Sollfrequenz), außerdem meist Zeitzeichen ausstrahlt. N. arbeiten z. B. in Moskau, Rugby (Großbritannien), Turin, Washington.

Normwandler: Apparatur für den Programmaustausch zwischen Fernsehsystemen verschiedener ↑ Fernsehnorm. Bei *indirekten Verfahren* wird das mit einem Empfänger für Norm *A* aufgenommene Bild ge-

speichert (Magnetband, Film), anschließend nach Norm *B* abgetastet und wieder ausgestrahlt. *Direkte Verfahren* verwenden zur Normwandlung z. B. eine ↑ Speicherröhre, deren Schreibstrahl nach Norm *A* und deren Lesestrahl nach Norm *B* gesteuert wird. Auch kann das Schirmbild eines Empfängers nach Norm *A* von einer Fernsehkamera nach Norm *B* zur Wiederausstrahlung aufgenommen werden.

NOR-Schaltung ↑ logische Grundschaltungen.

Notfunkgerät: Funkgerät, das speziell für Aufnahme oder Abgabe von ↑ Notzeichen und zur Aufrechterhaltung des Funkbetriebs in Notfällen vorgesehen ist. In der Seeschiffahrt gibt es zur Aufnahme von Telegrafie- bzw. Telefonie-Notzeichen *automatische Alarmzeichen-Empfangsgeräte* (*Autoalarmgeräte*), auf die Seenotfrequenzen (↑ Notzeichen) fest abgestimmte, ständig eingeschaltete Empfänger. Ein z. B. durch Relais oder Transistoren gesteuerter Zusatz spricht auf die dem Notzeichen vorausgehenden Alarmzeichen an und löst an mehreren Stellen des Schiffs Alarmeinrichtungen aus. Zur Aufnahme von Telefonie-Notzeichen ist ein *Wachempfänger* bestimmt, der auf der Seenotfrequenz 2 182 kHz ständig in Betrieb ist. Die Lautstärke des normalen Sprechverkehrs wird in ihm gedrosselt, Alarmzeichen dagegen werden verstärkt wiedergegeben.

Notsender arbeiten auf den für Notzeichen vorgesehenen Frequenzen, haben eigene Stromversorgung und sind mit einem *Notrufgeber* für Telegrafiezeichen ausgestattet, der selbsttätig Notzeichen, Schiffsposition und Peilsignal sendet. *Rettungsbootstationen* sind tragbare, schwimmfähige Sende-und-Empfangs-Anlagen für die Seenotfrequenzen. Sie werden aus Batterien oder mit Hilfe eines Handkurbelgenerators gespeist, senden Alarm- und Notzeichen sowie einen Dauerstrich für Peilzwecke selbsttätig und können auf Telegrafie- oder Telefoniebetrieb geschaltet werden. Rettungswesten-Kleinstsender senden bei Berührung mit Wasser selbsttätig Peilsignale. Vgl. Funkboje.

Notzeichen: international vereinbarte Funksignale, die im Falle ernster Gefahr gesendet werden. N. im Telegrafieverkehr ist die bes. leicht erkennbare Buchstabenfolge SOS (...---...), im Telefonieverkehr (Sprechfunk) das Wort „Mayday" [engl. Deutung des franz. „m'aidez!" – Helfen Sie mir!]. Den N. gehen *Alarmzeichen* voraus, im Telegrafieverkehr 12 Striche von je 4 s Dauer, jeweils durch 1 s Pause unterbrochen, im Telefonieverkehr die mit jeweils 0,25 s Dauer abwechselnd ausgestrahlten Tonfrequenzen von 1 300 Hz und 2 200 Hz. Die Alarmzeichen lösen das Autoalarmgerät bzw. den Wachempfänger (↑ Notfunkgerät) beim Empfänger eines N. aus.

N. im Seefunkverkehr werden auf den international festgelegten *Seenotfrequenzen* 500 kHz (Telegrafie) und 2 182 kHz (Telefonie) gesendet, die ständig überwacht werden und auf denen stündlich zweimal für 3 min Funkstille zur besseren Aufnahme von N. herrscht. Da auf den Seenotfrequenzen ständig empfangen wird, benutzt man sie auch als *Anruffrequenz*, d. h., man ruft die gewünschte Station auf der betr. Seenotfrequenz und gibt, wenn erstere sich gemeldet hat, den Funkspruch auf

einer anderen vereinbarten Frequenz durch. Beim Empfang von N. müssen jedoch das Rufen auf den Seenotfrequenzen und jeder andere Funkverkehr unverzüglich abgebrochen werden.

NTC-Widerstand ↑ Thermistor.

NTSC-System ↑ Fernsehen 2.

Nuvistor *m*: etwa fingerhutgroße Elektronenröhre (Triode oder Tetrode) in Metall-Keramik-Technik. Die zylindrischen Elektroden des N. sind mit kegelstumpfförmigen Flanschen auf der keramischen Sockelplatte befestigt. Das Elektrodensystem wird automatisch zusammengesetzt und in einem Arbeitsgang hartverlötet. Der Röhrenkolben (Stahlblech) wird über die am Rande metallisierte Sockelplatte geschoben und während des Evakuierens mit dieser vakuumdicht verlötet. Bei manchen N.typen ist ein Teil des Kolbens gleichzeitig Anode. Da der N. keine Glas- oder Glimmerteile enthält, kann er während des Evakuierens erhitzt werden, bis nahezu alle Gasreste aus Elektroden und Halteteilen getrieben sind; ein Getter ist nicht nötig. N.en sind unempfindlich gegen Stöße und mechanische Schwingungen und vertragen eine Umgebungstemperatur von > 200 °C. Die Bedeutung der Anfang der 60er Jahre entwickelten N.en ging durch die rasche Entwicklung der Halbleitertechnik erheblich zurück.

Nyquist-Flanke ↑ Fernsehempfänger.

O

Oberschwingung, bei wellenartigen Vorgängen auch *Oberwelle* genannt: Schwingung, deren Frequenz ein ganzzahliges („harmonische" O., meist kurz als O. oder *Harmonische* bez.) oder nichtganzzahlige („anharmonische" O.) Vielfaches der Frequenz einer Grundschwingung ist. Bes. Bedeutung haben harmonische O.en, wobei man die O. doppelter Grundschwingungsfrequenz O. 2. Ordnung, die O. dreifacher Grundschwingungsfrequenz O. 3. Ordnung usw. nennt. O.en entstehen in Bauelementen und Schaltanordnungen mit gekrümmten Kennlinien, z. B. also in Röhren und Halbleiterbauelementen. Sie erweisen sich als nachteilig u. a. in Verstärkern und Empfängern (Ursache von Verzerrungen bzw. Pfeifstörungen) sowie in Sendern (Entstehen von Oberwellen, deren Abstrahlung durch zusätzliche Maßnahmen unterdrückt werden muß). Genutzt wird die Bildung von O.en, wenn Vielfache einer Frequenz gewonnen werden sollen (↑ Frequenzvervielfacher).

Fast jeder periodische Vorgang, etwa Wechselströme oder -spannungen beliebiger Kurvenform, läßt sich mittels der „harmonischen Analyse" rechnerisch in eine Grundschwingung und in O.en unterschiedlicher Ordnung und Amplitude zerlegen.

OCR [Abk. für engl. *O*ptical *C*haracter *R*eader, Leser für optische Zeichen]: Klarschriftleser, ↑ Belegleser.

ODER-Glied ↑ logische Grundschaltungen.

Off-line-Betrieb, *indirekte Datenverarbeitung*: Betriebsweise einer EDVA, bei der Ein- und Ausgabe nicht unmittelbar (wie beim ↑ On-line-Betrieb), sondern über zwischengeschaltete Datenträger erfolgen, d. h. Primärdaten oder ein Programm erst auf Lochbändern oder -karten, auf Magnetbändern oder -platten festgehalten und mit Hilfe von Geräten der 2. Peripherie (↑ Peripheriegeräte), wie Lochband-, Lochkarten- oder Magnetbandleser, der Zentraleinheit eingegeben werden, während die Ausgabe z. B. durch Streifen- oder Kartenlocher geschieht. Off-line-Ausgabe kann aber auch mit Geräten der 1. Peripherie erfolgen, z. B. Ausdrucken von auf Magnetband gespeicherten Primärdaten mittels eines Schnelldruckers. In beiden Fällen sind Datenvorbereitung bzw. -ausgabe und Datenverarbeitung zeitlich getrennte und voneinander unabhängige Vorgänge.

Offset-Betrieb, *Versatzbetrieb*: Betriebsweise von Sendern, um in einem Empfangsgebiet Interferenzstörungen durch Wellen von 2 auf gleichen Kanälen arbeitenden Fernsehsendern zu vermindern. Beim O. werden die Bildträgerfrequenzen geringfügig gegeneinander versetzt, häufig um $^2/_3$ der Zeilenfrequenz (10,5 kHz). In Sendertabellen wird O. durch ein + oder − hinter der Kanalangabe kenntlich gemacht, wobei das Zeichen auf Frequenzabweichung nach oben oder unten gegenüber der Kanal-Sollfrequenz hinweist. Auch für UKW-Rundfunksender wird O. angewendet.

OIRT ↑ Fernsehnorm.

Oktode ↑ Elektronenröhre.

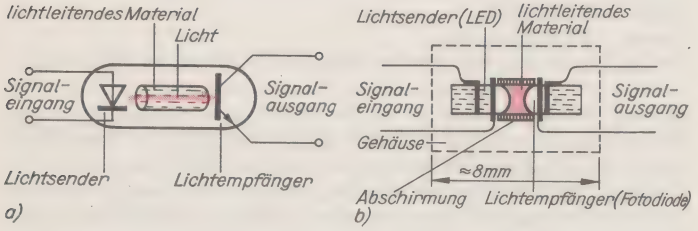
Omega-Verfahren: dem ↑ Decca-Verfahren ähnliches, im Längstwellenbereich (10···14 kHz) arbeitendes Funkortungssystem der See- und Luftfahrt. Wegen der großen Reichweite und Ausbreitungskonstanz von Längstwellen genügen die 8 über die Erde in Abständen von etwa 10^4 km verteilten, nach einem 10 s-Zeitplan abwechselnd arbeitenden Sender, um an jedem Ort eine Standortbestimmung mit einer Genauigkeit von etwa ± 2 km zu ermöglichen. Die auch beim O. erforderliche Phasenstarrheit der Sender wird durch Synchronisierung mit ↑ Atomuhren erreicht. Die Anzeige geschieht analog oder digital mittels Spezialkarten oder über einen angeschlossenen Kleinrechner unmittelbar in Längen- und Breitenangaben; der Anschluß von Kursschreibern ist möglich. Wegen des Eindringvermögens von Längstwellen in Wasser (bis etwa 15 m Tiefe) ist das O. auch für Unterwasserfahrzeuge anwendbar.

On-line-Betrieb, *direkte Datenverarbeitung*: Betriebsweise einer EDVA, bei der Eingabedaten dem Arbeitsspeicher der Zentraleinheit unmittelbar, z. B. über eine Tastatur, ein Meßgerät, einen Lochbandstanzer oder eine Registrierkasse, zugeführt, unmittelbar verarbeitet und als dem Menschen unmittelbar zugängliches Resultat nach kürzester Wartezeit ausgegeben werden, z. B. von einem Drucker, einem Zeichentisch o. a. grafischem Ausgabegerät, einer Ziffernanzeige oder einem ↑ Datensichtgerät. Vgl. Echtzeitbetrieb, Off-line-Betrieb.

Open-loop-Betrieb ↑ Prozeßrechner.

Optoelektronik: Zweig der Elektronik, der Wechselwirkungen zwischen Licht (einschl. IR- und UV-Strahlung) und Ladungsträgern für den Aufbau elektronischer Schaltungen und Systeme zur Signalübertragung, -verarbeitung und -speicherung nutzt. Im Unterschied zu fotoelektronischen Einrichtungen, bei denen der Lichtstrahl optisch gesteuert wird (vgl. Lichtschranke, Schallspeicherung), steuern hier die elektrischen Signale die Lichtquelle. Anordnungen der O. sind meist auf die Folge Lichtsender (z. B. Lumineszenzdiode, Halbleiterlaser) – Übertragungsweg (z. B. freier Raum, lichtleitendes Material) – Lichtempfänger (z. B. Fotodiode bzw. -transistor oder -thyristor) zurückführbar (vgl. Glasfasernachrichtenübertragung).

Wichtige Elemente der O. sind *optoelektronische Koppler* (*Optokoppler*) zur Kopplung elektronischer Schaltungen mit Hilfe von Lichtenergie (Abb.). Lichtsender, (sehr kurzer) Übertragungsweg und Lichtempfänger (teilweise mit nachgeschaltetem Verstärker) bilden eine integrierte Schaltung geringer Abmessungen (Einbau z. B. in Transistor- oder DIL-Gehäuse). Die Übertragung analoger oder digitaler Signale geschieht nahezu trägheitslos und – im Gegensatz zu elektrischer Kopplung – bis zu höchsten Frequenzen ohne Rückwirkung des Ausgangs auf den Eingang. Die elektrische Trennung Eingang/Ausgang ermöglicht Kopplung von Schaltungen sehr unterschiedlichen Spannungsniveaus.



Optokoppler im Prinzip (a) und Aufbauschema (b)

Die O. hat Bedeutung für die Steuerungs-, Regelungs-, Datenverarbeitungs- und Nachrichtentechnik. Mit ihrer Hilfe lassen sich z. B. Verstärker großer Bandbreite, logische Schaltungen oder Relaisanordnungen aufbauen, die elektromagnetischen Relais in der Schaltfrequenz um das 10^5fache überlegen sind und keinerlei Kontaktabnutzung unterliegen. Zur O. i. w. S. zählt man auch Einrichtungen zur Zeichen- bzw. Bildaufnahme und Wiedergabe.

„Orbita"-System: Kommunikationssystem der UdSSR, vor allem für den innerstaatlichen Nachrichtenaustausch, bestehend aus ↑ Nachrichtensatelliten vom Typ „Molnija" und einem Netz von Bodenstationen. Die Satelliten durchlaufen aus geographischen Gründen (das Territorium der UdSSR liegt weit nördlich des Äquators) langgestreckte Ellipsenbahnen

mit einer Apogäumshöhe von etwa 40 000 km über der nördlichen Halbkugel, einer Bahnneigung von etwa 65° und einer Umlaufzeit von etwa 12 h. Diese Bahnen gewährleisten eine Nutzungsdauer von 8 bis 9 h je Satelliten-Umlauf.

Der 1. Nachrichtensatellit des „O." wurde im April 1965 auf seine Umlaufbahn gebracht. Die einheitlich ausgeführten, inzwischen mehrfach verbesserten und ausgebauten Bodenstationen empfangen die Signale über eine Parabolantenne von 12 m Durchmesser, die der Satellitenbewegung automatisch, halbautomatisch oder durch Handsteuerung nachgeführt wird. Die Eingangsstufe der Empfänger ist mit einem parametrischen Verstärker ausgerüstet, die Sender verwenden ein Klystron in der Endstufe mit einer Leistung von mehreren Kilowatt. Alle Baugruppen sind doppelt vorhanden und schalten bei Defekten selbsttätig oder auf bes. Steuerbefehl auf Reserve um. Es werden Funkfernschreiben, -gespräche, Faksimiledarstellungen (z. B. Zeitungsseiten für dezentralisierten Druck) und Schwarz-Weiß- bzw. Farbfernsehprogramme übertragen. Von den gegenwärtig über 60 Bodenstationen auf sowjetischem Territorium sind die meisten für Senden und Empfang, die übrigen nur für Empfang eingerichtet. Sie nehmen u. a. das von Moskau gesendete zentrale Fernsehprogramm auf und leiten es zur Ausstrahlung an örtliche Fernsehsender weiter. Außerhalb der UdSSR gibt es „Orbita"-Stationen in Ulan-Bator (MVR) und auf Kuba.

Orthikon ↑ Bildaufnahmeröhre.

OSCAR [Abk. von engl. *O*rbital *S*atellite *C*arrying *A*mateur *R*adio, etwa Satellit auf Umlaufbahn, Amateurfunkgerät tragend]: von Funkamateuren entwickelter nichtstationärer ↑ Nachrichtensatellit, der Signale auf den Amateurbändern um 70 cm, 2 m und 10 m empfängt und wieder ausstrahlt. Die Satelliten O. (7 Starts bis Ende 1975) dienen der Messung und dem Empfang von Bahn- und Telemetriedaten, der Vermittlung von Amateurfunk-Fernverbindungen im Höchstfrequenzbereich sowie der Untersuchung der Betriebsverhältnisse und Ausbreitungsbedingungen in diesen Frequenzbändern.

Oszillator: Schaltung zum Erzeugen elektrischer Schwingungen, häufig, insbes. bei Abgabe großer Leistung, auch *Generator* genannt. Die Einteilung der O.en erfolgt nach der von ihnen erzeugten Frequenz (z. B. HF- und NF-O.en) oder nach der Form der erzeugten Schwingungen (z. B. sinusförmige, sägezahnförmige Schwingungen). O.en werden mit Elektronenröhren (mitunter auch Gasentladungsröhren) oder mit Halbleiterbauelementen bestückt. Zweipole mit negativem Kennlinienbereich, wie z. B. die Tunneldiode (↑ Diode 2.), können einen Parallelschwingungskreis entdämpfen und damit auch zur Schwingungserzeugung dienen. *O.en für sinusförmige Schwingungen*, auch *harmonische O.en* genannt, sind von niedrigsten Frequenzen bis in den UHF-Bereich verbreitet, z. B. in Sendern, Misch-und-Oszillator-Stufen von Empfängern, zur Frequenzumsetzung in der Meß- und Trägerfrequenztechnik, in elektronischen Musikinstrumenten. Ihre Funktion beruht meist auf ↑ Rück-

kopplung. Jeder nach dem Rückkopplungsprinzip arbeitende O. enthält meist 2 frequenzbestimmende Bauelemente (oft zu einem Schwingungskreis vereinigt), ferner ein verstärkendes oder steuerndes Bauelement (Röhre oder Halbleiterbauelement) und ein Rückkopplungsnetzwerk. Die frequenzbestimmenden Bauelemente können entweder im Verstärkerweg oder im Rückkopplungszweig liegen. Aufgabe des verstärkenden Bauelements ist es, den frequenzbestimmenden Bauelementen fortlaufend soviel Energie mit der richtigen Frequenz und Phasenlage zuzuführen, daß deren beabsichtigte (z. B. durch Energieabgabe an eine folgende Stufe oder eine Antenne) oder unbeabsichtigte (z. B. durch den Ohmschen Widerstand verursachte) Energieverluste ersetzt und ungedämpfte Schwingungen aufrechterhalten werden. Die Rückkopplungsanordnung greift einen Teil der an den frequenzbestimmenden Bauelementen auftretenden Spannungen ab und führt diesen dem verstärkenden Bauelement als Steuerspannung zu. Dazu muß 1. die Bedingung $K \cdot V \geqq 1$ erfüllt sein (vgl. Rückkopplung); 2. da zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung eines einstufigen Verstärkers ein Phasenunterschied von 180° besteht, dieser durch eine Phasendrehung von 180° in der Rückkopplungsanordnung aufgehoben werden. Im *Meißnerschen O.* (Abb. *1*), der von dem deutschen Physiker *Alexander Meißner* geschaffenen Grundschaltung aller Rückkopplungs-O.en, ist die Spule L des frequenzbestimmenden Schwingungskreises $L - C$ zugleich Primärspule eines Transformators, dessen Sekundärseite die Steuerspannung für Elektronenröhre bzw. Transistor liefert. Der Betrag der rückgekoppelten Spannung wird durch das Übersetzungsverhältnis des Transformators bzw. die Kopplung seiner Spulen, ihrer Phasenlage durch die entspr. Polung der Sekundär- zur Primärseite bestimmt. Amplitude und Frequenz des O. werden durch Änderungen der Betriebsspannungen und der Kennwerte des verstärkenden Bauelements (beim Transistor z. B. auch durch die Temperaturabhängigkeit) beeinflußt und bedingen Stabilisierungsmaßnahmen. In Abb. *1a* z. B. fließt bei schwingendem O. Gitterstrom über den Widerstand R. Es entsteht eine negative Gittervorspannung, die dem Anwachsen der Schwingungsamplitude entgegenwirkt, so daß sich ein Gleichgewichtszustand einstellt. In Abb. *1b* wird der Arbeitspunkt durch

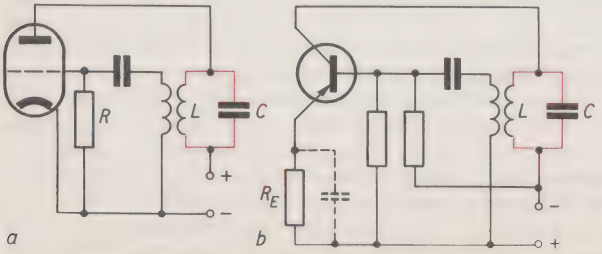


Abb. *1*: Meißnersche Oszillatorschaltung, *a* mit Elektronenröhre, *b* mit Transistor

den meist kapazitiv überbrückten Emitterwiderstand R_E stabilisiert. Wird auf die Parallelschaltung des Kondensators verzichtet, so trägt zusätzlich der der Spannung an der Transformator-Sekundärseite entgegenwirkende Wechselspannungsabfall am Widerstand R_E zur Stabilisierung der Schwingungsamplitude bei.

Beim *„induktiven" Dreipunkt-O.*, nach seinem Erfinder auch *Hartley-O.* genannt (Abb. *2*), wird die Steuerspannung für Transistor bzw. Röhre an der Spule des Schwingungskreises abgegriffen. Da der Abgriff wechselspannungsmäßig mit der Basis verbunden ist, treten an den Enden der Spule *L* auf die Basis bezogen gegenphasige Wechselspannungen auf, wie sie zur Erfüllung der Selbsterregungsbedingung erforderlich sind. Das Teilverhältnis Schwingungskreisspannung/rückgekoppelte Steuerspannung ist durch die Lage des Spulenabgriffs bestimmt. Verwendet man als Schwingungskreiskapazität 2 in Reihe geschaltete Kondensatoren, von deren Verbindungspunkt aus der Transistor (bzw. die Röhre) gesteuert wird, so ergibt sich der *„kapazitive" Dreipunkt-O.*, nach seinem Erfinder auch *Colpitts-O.* genannt (Abb. *3*).

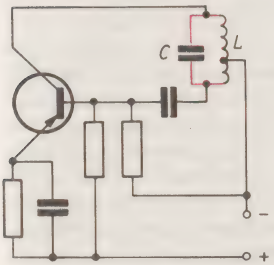


Abb. *2*: Hartley-Oszillator

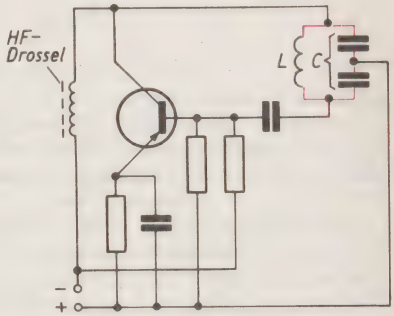


Abb. *3*: Colpitts-Oszillator

Der *elektronengekoppelte O.* [Abk. *ECO* von engl. *E*lectron *C*oupled *O*scillator, Abb. *4*], nur mit Elektronenröhren ausführbar, ist ein Dreipunkt-O., dessen Anodenkreis wegen des mit der Schwingungsfrequenz schwankenden Anodenstroms die Abnahme der HF-Energie ermöglicht, am Rückkopplungsvorgang aber nicht unmittelbar beteiligt ist (Kopplung zwischen O.eingang und -ausgang nur über den Elektronenstrom). Durch die abschirmende Wirkung des für HF geerdeten Schirm- und Bremsgitters werden Rückwirkungen des Anodenkreises auf die Schwingungserzeugung verhindert; der O. weist daher gute Frequenzstabilität auf.

Der nach seinen Erfindern benannte *Huth-Kühn-O.* ist durch je einen Schwingungskreis an der Eingangs- und der Ausgangsseite des verstärkenden Bauelements charakterisiert. Ein Teil der am Ausgangskreis auftretenden Spannung gelangt als Rückkopplungsspannung z. B. über

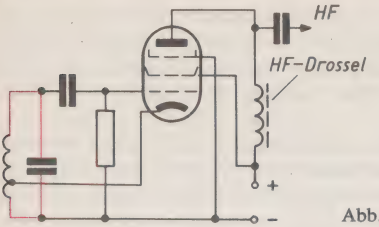


Abb. 4: Elektronengekoppelter Oszillator

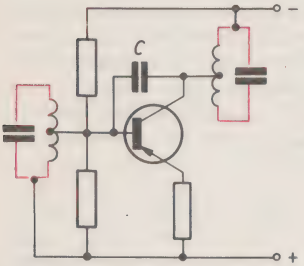


Abb. 5: Huth-Kühn-Oszillator

die Gitter-Anoden-Kapazität der O.röhre (vgl. Elektronenröhre) zum Eingangskreis. Daher neigen auch mit Trioden bestückte HF-Verstärker dazu, als Huth-Kühn-O. zu schwingen. Das zwingt zu bes. Schaltungsmaßnahmen (↑ Neutralisation) und war ein entscheidender Grund für die Entwicklung von Tetrode und Pentode. Bei transistorisierter Ausführung des Huth-Kühn-O. (Abb. *5*) tritt die Kollektor-Basis-Kapazität an die Stelle der Gitter-Anoden-Kapazität; sie wird, um eine ausreichende Rückkopplung zu erreichen, meist durch einen parallelgeschalteten Kondensator *C* geringer Kapazität vergrößert.

Im *RC-O.* (Abb. *6*) treten an die Stelle des Schwingungskreises Widerstand-(*R*-)Kondensator-(*C*-)Glieder zwischen Eingang und Ausgang des verstärkenden Bauelements. Ihre Frequenzabhängigkeit hat zur Folge, daß nur bei einer (durch die Widerstands- und Kondensatorwerte bestimmten) Frequenz die zur Schwingungserzeugung nötige Phasendrehung zwischen Ein- und Ausgang des verstärkenden Elements auftritt. Auf dieser Frequenz schwingt der RC-O.

Der *quarzgesteuerte* oder *-stabilisierte O.* beruht auf der Anwendung des umgekehrten ↑ piezoelektrischen Effekts. Der Quarzkristall verhält sich gegenüber einer HF-Spannung wie ein sehr hochwertiger Schwingungskreis. Er kann im O. einen Parallelschwingungskreis ersetzen oder als Reihenschwingungskreis nur für eine bestimmte Frequenz Rückkopplungsspannung zurückführen. Der quarzgesteuerte O. in Abb. *7a* entspricht einem Huth-Kühn-O., dessen Eingangsschwingungskreis durch den Quarz ersetzt wurde. In Abb. *7b* liegt der Quarz als Reihenschwingungskreis im Rückkopplungszweig. Der *Heegner-O.* (nach seinem Er-

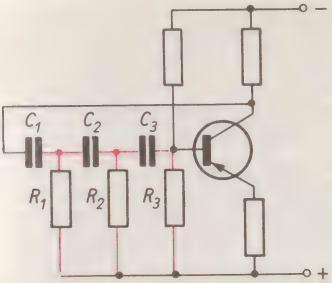


Abb. 6: RC-Oszillator

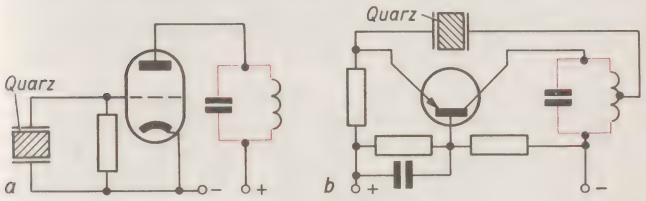


Abb. 7: Quarzgesteuerter Oszillator, *a* mit Elektronenröhre, *b* mit Transistor

finder benannt) enthält 2 verstärkende Bauelemente, die durch den als Reihenschwingungskreis wirkenden Quarzkristall gekoppelt sind. Die mit quarzgesteuerten O.en erreichbare Frequenzstabilität kann $> 10^{-8}$ der Sollfrequenz betragen.

O.en für nichtsinusförmige Schwingungen, sog. *Impulsgeneratoren*, werden vor allem im NF-Bereich benötigt, z. B. zur Erzeugung sägezahnförmiger Ablenkspannungen oder -ströme für Eelektronenstrahlröhren oder von Impulsen verschiedener Form, Länge und Folgefrequenz. Verbreitet sind vor allem ↑ Sperrschwinger und astabile ↑ Multivibratoren. Außerdem werden nichtsinusförmige Schwingungen nachträglich aus Schwingungen gewonnen, die in einem O. für sinusförmige Schwingungen erzeugt wurden (z. B. ↑ Ablenkstufe).

Oszillographenröhre: ↑ Elektronenstrahlröhre zur optischen Beobachtung, Kontrolle und Messung des zeitlichen Ablaufs periodisch sich wiederholender (bis zu Frequenzen > 100 MHz, in Sonderfällen > 1 GHz) oder einmaliger elektrischer Vorgänge bzw. solcher Erscheinungen, aus denen sich analoge elektrische Spannungen oder Ströme gewinnen lassen. Der Elektronenstrahl wird in O. meist elektrostatisch fokussiert und abgelenkt. Die Ablenkplatten für die Vertikalablenkung heißen *Meßplatten* (auch *Y-Platten*), da an ihnen im Normalfall die zu untersuchende Spannung liegt, die Platten für die Horizontalablenkung *Zeitplatten* (auch *X-Platten*), da an ihnen häufig eine zeitproportionale Spannung liegt (vgl. Elektronenstrahloszillograph). Der *Ablenkfaktor AF* einer O. gibt an, welche Ablenkspannung den Leuchtfleck auf dem Bild-

schirm um 1 cm in waagerechter bzw. senkrechter Richtung verschiebt (z. B. $AF = 17$ V/cm); der Kehrwert, die *Ablenkempfindlichkeit*, entspricht der Strecke, um die der Leuchtfleck durch eine Ablenkspannung von 1 V verschoben wird. Da der Ablenkfaktor u. a. von der Strecke Ablenkplatten-Bildschirm abhängt, ist er für die Meßplatten kleiner als für die Zeitplatten. Um bei niedriger Anodenspannung (leichte Ablenkbarkeit des Elektronenstrahls, hohe Empfindlichkeit) einen hellen Leuchtfleck zu erhalten, sind zahlreiche O. mit einer *Nachbeschleunigungselektrode* ausgestattet. Sie hat gegenüber der Katode eine positive Spannung bis zu einigen Kilovolt und beschleunigt die Elektronen nach der Ablenkung nochmals. Eine nachträgliche Ablenkung des Elektronenstrahls und Verzerrungen des Schirmbilds werden vermieden, indem die Nachbeschleunigungselektrode als wendelförmige Graphitschicht auf die Kolbeninnenwand zwischen Ablenksystem und Bildschirm aufgebracht wird.

Zur gleichzeitigen Darstellung mehrerer Meßgrößen wurden *Mehrstrahlröhren* entwickelt. Sie enthalten meist 2 voneinander unabhängig arbeitende, gegeneinander abgeschirmte Strahlerzeugungs- und Ablenksysteme. Auf dem Bildschirm erscheinen die von den Elektronenstrahlen erzeugten Bilder über- oder nebeneinander.

Bei *Polarkoordinatenröhren* treten an die Stelle der Zeitplatten äußere magnetische *Ablenkspulen*, die den Leuchtfleck einen Kreis beschreiben lassen. Der Elektronenstrahl durchläuft außerdem ein zylindrisches oder konisches elektrostatisches Ablenksystem. Werden diesem Meßspannungen zugeleitet, so erfährt der Leuchtfleck zusätzliche radiale Auslenkungen in Form von „Zacken". Eine solche Darstellungsweise ist z. B. für Kurzzeitmessungen und für manche Aufgaben der Radartechnik günstig.

P

Paarerzeugung ↑ Halbleiter.

Pacemaker [engl.]: svw. ↑ Herzschrittmacher.

PAL-System ↑ Fernsehen 2.

PAM ↑ Modulation.

Panoramaempfang: hauptsächlich zur Funküberwachung und militärischen Funkaufklärung benutztes Empfangsverfahren, bei dem ein wählbares Frequenzband fortlaufend überwacht und sämtliche in diesem Band aufnehmbaren Sender nach Frequenz und Empfangsfeldstärke optisch angezeigt werden. Geräte für P. sind empfindliche Funkempfänger, deren von Hand oder elektronisch eingestellte Abstimmkreise ständig den interessierenden Frequenzbereich absuchen. Synchron mit der Abstimmung wird auf dem Bildschirm einer Elektronenstrahlröhre eine waagerechte Zeile geschrieben, auf der die Signale der aufgenommenen Sender jeweils

Auslenkungen in senkrechter Richtung hervorrufen. Auf diese Weise wird das Spektrum aller in dem Bereich arbeitenden und empfangenen Sender aufgezeichnet.

PAR ↑ Radar.

Parallelbetrieb und **-information** ↑ Digitalrechenautomat.

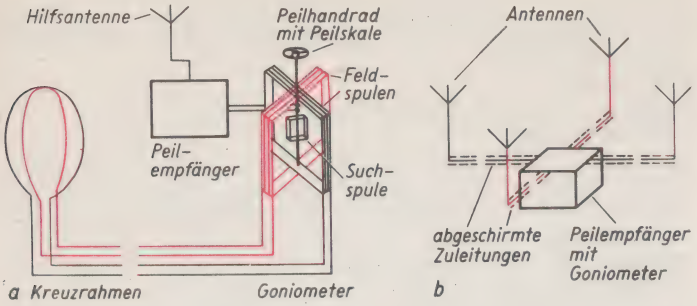
PCM ↑ Modulation.

Peilanlage: Gerätekombination zur ↑ Funkpeilung, mindestens bestehend aus einer richtungsabhängig wirksamen Antenne, einem Peilempfänger und einer Einrichtung zur Winkelanzeige. Richtungsabhängige Antenne der *Drehrahmen-P.* ist eine aus einer oder mehreren großflächigen Windungen bestehende Rahmenantenne. Sie kann mit einem Handrad um eine senkrechte Achse gedreht werden; eine Peilscheibe mit Gradeinteilung zeigt die jeweilige Stellung an. Die vom Drehrahmen an den Empfänger abgegebene Spannung hat ihr Maximum, wenn die Rahmenebene zum Sender weist, ihr Minimum, wenn die Senkrechte auf der Rahmenebene zum Sender gerichtet ist. Da das Minimum (geringste Lautstärke des empfangenen Senders) ausgeprägter ist als das Maximum, wird meist die *Minimumpeilung* angewendet. Die Werte der Antennenspannung wiederholen sich nach jeweils 180° Rahmendrehung, d. h., die Peilung ist zunächst doppeldeutig. Zur *Seitenbestimmung* werden deshalb die Spannung der Haupt- und die Spannung einer Hilfsantenne ohne Richtwirkung in geeigneter Weise zusammengeschaltet.

Die *Goniometer-P.* ist mit 2 feststehenden, um 90° gegeneinander verdrehten Rahmenantennen (Kreuzrahmen) ausgestattet. Die Antennenspannungen werden einer speziellen Spulenanordnung, dem Goniometer, so zugeführt, daß im Innenraum der Goniometerspulen eine gleiche Feldverteilung wie am Kreuzrahmen entsteht. Mit einer zwischen den Goniometerspulen drehbaren Suchspule kann daher die Richtung ebenso festgestellt werden wie durch Drehen eines Rahmens. Das Goniometer wird mit dem Peilempfänger konstruktiv vereint, während der Kreuzrahmen, der nur elektrisch mit dem Goniometer verbunden ist, an einer, auch entfernten, günstigen Stelle aufgestellt werden kann (bei Schiffen z. B. auf dem Peildeck).

Die *Sichtfunk-P.* zeigt selbsttätig und fortlaufend die Richtung zum Sender als Leuchtstrich auf dem Bildschirm einer mit einer Peilskale versehenen Elektronenstrahlröhre an. Die von einer Kreuzrahmenantenne stammenden Spannungen laufen über je einen Empfänger, dessen Ausgangsspannung an einem von 2 Ablenkplattenpaaren der Elektronenstrahlröhre liegt, und schreiben einen Strich, dessen Richtung vom Verhältnis der beiden Spannungen, d. h. von der Richtung zum Sender, abhängt. Verstärkung und Phasengang beider Empfänger müssen völlig übereinstimmen, da sonst ein *Peilfehler* entsteht bzw. der Strich auf dem Bildschirm zur Ellipse aufgeweitet wird. Ein dritter, von einer Hilfsantenne gespeister Empfänger sorgt für die Seitenbestimmung.

Ausgedehnte Leiter und Metallmassen in der Nähe einer P. (z. B. Schiffsrumpf, Masten, Trossen) verzerren das elektromagnetische Feld



Goniometer- (a) und Adcock-Peilanlage (*b*)

und verursachen Peilfehler. Der Richtungsfehler wird gemessen und durch Kompensationsmaßnahmen möglichst ausgeglichen (*Funkbeschikkung*), z. B., indem man aus einer der Goniometerspulen einen regelbaren Teil der HF-Spannung zur anderen überträgt. Ein zusätzlich vorhandener ↑ Antenneneffekt der Rahmenantenne „trübt" das Peilminimum, d. h., die Lautstärke sinkt nicht bis auf Null. Zur *Enttrübung* greift man einen Teil der Hilfsantennenspannung ab und schaltet ihn der die Trübung verursachenden Spannung entgegen. Erhebliche Peilfehler sind ferner eine Folge des *Dämmerungs-* oder *Nachteffekts*, der durch das Zusammentreffen von Boden- und Raumwelle oder durch anomale Polarisation der Raumwelle am Empfangsort verursacht wird. In der *Adcock-P.* (Patent des Briten *Adcock*, 1918) läßt sich der Dämmerungseffekt weitgehend ausschalten. Mindestens 2 Paare senkrechter Antennen (Verbindungslinien schneiden sich unter 90°), die nur auf die senkrechte Komponente des vom Sender hervorgerufenen elektrischen Feldes ansprechen, speisen ein Goniometer im Zentrum der Antennenanordnung. Wegen ihrer Abmessungen (Antennenabstand bis zu mehreren 10 m) ist die Adcock-P. nur ortsfest anwendbar; lediglich für Wellenlängen < 10 m gibt es die sog. H-Adcock-P. mit 2 senkrechten Dipolen, die um das Zentrum ihrer Verbindungslinie gedreht werden können, so daß sich eine solche Anlage z. B. an Bord großer Wasserfahrzeuge installieren läßt.
Die *Impuls-P.* stellt eine Drehrahmen- oder Goniometer-P. dar, die ein Zusatzgerät mit Elektronenstrahlröhre aufweist und mit kurze Impulse abstrahlenden Sendern zusammenarbeitet. Die über die Ionosphäre eintreffenden Impulse sind länger unterwegs als die über die Erdoberfläche wandernden und erscheinen gegenüber diesen auf dem Bildschirm versetzt. Auf diese Weise ist eine Trennung von Raum- und Bodenwelle und eine Ausschaltung des Dämmerungseffekts möglich.
Doppler-P. (*Dopplerpeiler*), vorwiegend im VHF-Bereich für die Flugsicherung eingesetzt, schalten auf einem Kreis angeordnete Dipol-Empfangsantennen zyklisch an den Empfängereingang und simulieren so die

Kreisbewegung einer „virtuellen" Antenne. Infolge des ↑ Doppler-Effekts erscheint die Trägerwelle des zu peilenden Senders frequenzmoduliert; die max. Frequenzänderung erfolgt bei Bewegung der virtuellen Antenne in Richtung zum oder vom Sender. Durch Vergleich mit einer richtungsunabhängigen, am Empfangsort erzeugten Bezugsspannung wird das Azimut des Senders ermittelt und auf einem Bildschirm, einer Skale oder digital mit einer Genauigkeit bis $< \pm 2°$ angezeigt.

Peilstrich ↑ Radar.

Peltier-Element ↑ Halbleiterkühlelement.

Pentode ↑ Elektronenröhre.

Peripheriegeräte: Geräte und Einrichtungen einer EDVA, die nicht direkt zur Datenverarbeitung beitragen, sondern die Verbindung zwischen EDVA und Umwelt herstellen und bes. der Eingabe, Ausgabe, Fernübertragung und (äußeren) Speicherung von Daten dienen. Zur *1. Peripherie* zählt man Geräte und Einrichtungen, die mit der Zentraleinheit (ZE) durch Leitungen zum elektrischen Datentransport direkt verbunden sind, zur *2. Peripherie* Geräte und Einrichtungen, die durch Zwischenschalten von transportablen Datenträgern (z. B. Lochkarten, -bänder, Magnetbänder) mit der ZE verkehren.

Eingabegeräte übermitteln der ZE zu verarbeitende Informationen und Befehle; *Ausgabegeräte* stellen die Ergebnisse der Verarbeitung zur Verfügung. Da beide meist langsamer als die ZE arbeiten, werden zwischen diese und die Ein- bzw. Ausgabegeräte *Puffer*(*speicher*) zum Geschwindigkeitsausgleich geschaltet. Ein Eingabepuffer z. B. wird vom Eingabegerät mit Informationen gefüllt, die daraufhin mit hoher Geschwindigkeit der ZE zugeführt werden; während diese die Daten verarbeitet, wird der Eingabepuffer erneut gefüllt usw. Bei der Ausgabe verlaufen die Vorgänge in umgekehrter Richtung. Durch die Puffer ergibt sich auch die Möglichkeit, eine ZE gestaffelt mit mehreren Ein- und Ausgabegeräten zusammenarbeiten zu lassen. Häufig müssen die Daten bei der Eingabe erst in einen von der Anlage benutzten Code verschlüsselt und bei der Ausgabe wieder entschlüsselt werden (z. B. Eingabe über Tastatur, Ausgabe über Schreibmaschine). Dies geschieht mit Verschlüsselungs- bzw. Entschlüsselungseinrichtungen, die im wesentlichen aus ↑ logischen Grundschaltungen aufgebaut sind.

1. Eingabegeräte: Die manuelle Eingabe erfolgt mit Tastaturen, elektrischen Schreibmaschinen oder Fernschreibern, mitunter auch Registrierkassen. Zur maschinellen Eingabe dienen elektromechanisch bzw. elektronisch arbeitende Lesegeräte, wie Lochkarten-, Lochband- und Magnetbandleser, die z. B. Lochkombinationen fotoelektrisch abtasten (Abtastgeschwindigkeit z. B. 500 Karten/min oder 10^3 Zeichen/s). Auch ↑ Analog-Digital-Umsetzer finden als Eingabegeräte Verwendung. Zeichenerkennende Eingabegeräte lesen Schriftzeichen und ersparen damit das Umschreiben von Urbelegen (↑ Belegleser). Eingabegeräte zum Lesen von Mikrofilmen gewinnen an Bedeutung.

2. Ausgabegeräte: Hierzu gehören vor allem Lochkarten- und

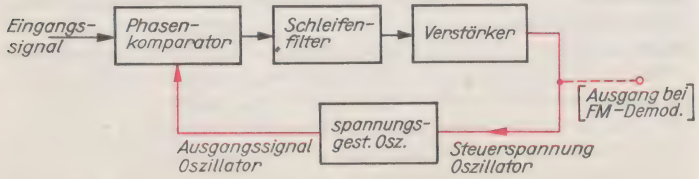
Lochbandstanzer (Arbeitsgeschwindigkeit z. B. 100 Karten/min bzw. 100 Zeichen/s), elektrische Schreibmaschinen, Fernschreiber, Schnelldrucker und Mikrofilm-Ausgabegeräte. Schnelldrucker geben bis zu 10^3 Zeilen/s aus. Bei der optischen Ausgabe über einen Bildschirm werden die Informationen als grafische Darstellung, „Zeichnung" oder alphanumerisch dargestellt (↑ Datensichtgerät). *Koordinatographen*, z. B. *x-y-Schreiber* und *Zeichentische*, werden von den Ausgabedaten so gesteuert, daß ein Schreibkopf auf ebener Unterlage Kurven, Diagramme u. a. zeichnet. Schließlich besteht auch die Möglichkeit der Ausgabe durch Ziffernanzeige oder phonetisch durch Lautsprecher oder Telefon. Ein- und Ausgabegeräte sind oft konstruktiv und bedienungsmäßig vereint.

3. Externe Speicher vervielfachen die Speicherkapazität einer Anlage bis zu 10^{10} bit, während die Zugriffszeit dann i. allg. keine sehr große Rolle spielt. Sie werden als Ferritkern-, Magnetband-, Magnettrommel- oder Magnetplattenspeicher ausgeführt und nehmen Daten auf, die im Verlauf einer Rechnung nicht ständig benötigt werden.

Personenrufanlage: elektronische Anlage, mit deren Hilfe Mitarbeiter in Betriebsräumen, Gebäuden, auf Baustellen usw. jederzeit und überall zu erreichen sind. Eine weitläufige Drahtschleife wird entweder mit einem im LW-Bereich arbeitenden leistungsschwachen Sender oder einem leistungsstarken NF-Verstärker verbunden (vgl. Induktionsschleife). Jede der zu rufenden Personen trägt einen Kleinstempfänger für die elektromagnetischen Wellen oder das niederfrequente magnetische Feld im Bereich der Schleife bei sich, der bei einem Anruf akustische Zeichen gibt und damit den Träger auffordert, sich über den nächsten Fernsprecher zu melden. Es gibt auch P., bei denen unmittelbare Durchsagen (in einer Richtung) möglich sind, sowie solche mit ↑ Selektivrufeinrichtung.

Phantastron ↑ Multivibrator.

Phase-Locked-Loop [Abk. *PLL*, engl. etwa „in der Phase eingerastete Schleife", phasensynchronisierte Regelschleife]: Regelschaltung, deren Regelspannung aus Frequenz- bzw. Phasenunterschied zweier Signale abgeleitet und benutzt wird, die Frequenzen beider Signale in ein festes Verhältnis zu bringen. Der *Phasenkomparator* (Phasendiskriminator, vgl. Demodulation 2.2.) vergleicht das Eingangssignal des PLL mit dem Ausgangssignal eines in seiner Frequenz spannungsgesteuerten Oszillators. Die der Phasendifferenz von Eingangs- und Oszillatorfrequenz proportio-

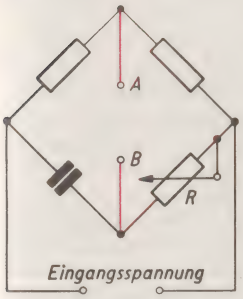


Zur Funktion des PLL

nale Ausgangsspannung des Phasenkomparators wird im *Schleifenfilter* (Tiefpaß) von unerwünschten Wechselspannungsanteilen befreit und dient (meist verstärkt) als Steuerspannung zum Nachstimmen des Oszillators. In einem von den Parametern des PLL abhängigen *Fangbereich* erfolgt die Regelung bis zur Übereinstimmung von Eingangs- und Oszillatorsignalfrequenz („Einrasten" des Oszillators). Frequenzänderungen des Eingangssignals in diesem Bereich folgt der Oszillator selbsttätig. – PLL finden u. a. Anwendung als FM-Demodulator (Steuerspannung dem Frequenzhub proportional), zur Frequenzumsetzung, -vervielfachung und -teilung und in Empfangsanlagen der Raumfahrt, wobei die durch den ↑ Doppler-Effekt verursachten Frequenzverschiebungen ausgeglichen werden.

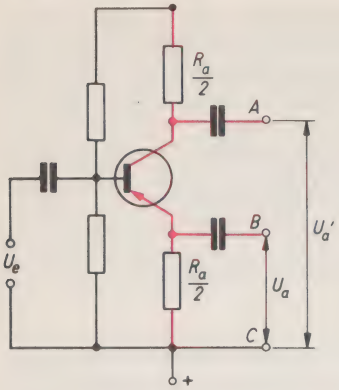
Phasendiskriminator ↑ Demodulation.

Phasenschieber: Anordnung, mit deren Hilfe aus einer Wechselspannung eine zweite, gegenüber der ersten in der Phase verschiebbare Wechselspannung gewonnen werden kann. P. sind häufig spezielle Brückenschaltungen. Durch Änderung von R (Abb.) kann die Spannung zwischen A und B gegenüber der Eingangsspannung bis um 180° in der Phase verschoben werden. Andere P. sind ähnlich wie ein Goniometer (↑ Peilanlage) aufgebaut, enthalten einen Drehkondensator mit mehreren gegeneinander isolierten Statorsegmenten und gemeinsamen Rotor oder im Höchstfrequenzbereich Hohlleiterstücke, die ganz oder z. T. mit einem Dielektrikum ausgefüllt sind. P. werden u. a. in der Meßtechnik, zur Schwingungserzeugung und Modulation sowie zur Steuerung von Gasentladungsröhren (vgl. Thyratron) und Thyristoren benutzt.



Phasenschieber in Brückenschaltung

Phasenumkehrstufe: Schaltung, mit deren Hilfe aus einer Wechselspannung U_e 2 gleich große, in ihrer Phase um 180° verschobene Wechselspannungen U_a und U'_a gewonnen werden (in der Abb. als Beispiel zwischen A und C sowie zwischen B und C). In der verbreiteten *Katodynschaltung* verteilt sich der Außenwiderstand eines verstärkenden Bauelements auf 2 gleiche Widerstände ($R_a/2$). P. werden u. a. zur Steuerung von Gegentaktverstärkern (↑ Verstärker), aber auch in den Synchronisierungsschaltungen von Fernsehempfängern eingesetzt.



Phasenumkehrstufe: Katodynschaltung

phi-Detektor ↑ Demodulation.

phonetische Aus- und Eingabe: Einrichtungen und Verfahren, mit deren Hilfe einer EDVA Sprache unmittelbar eingegeben und als Sprache ausgegeben wird, also ein „mündlicher" Dialog mit der EDVA möglich ist. Dabei wird auf das Prinzip des ↑ Vocoder zurückgegriffen. Zur *Eingabe* werden die in analoge elektrische Signale umgewandelten Schallschwingungen analysiert, mit gespeicherten Laut- bzw. Wortmustern verglichen und bei Übereinstimmung typischer Kennzeichen in Binärzeichen umgewandelt, die von der EDVA weiterverarbeitet werden. Zur *Ausgabe* steuert der in Speichern enthaltene Laut- bzw. Wortschatz einen Synthesator zur Erzeugung der „künstlichen" Sprache. Beschränken sich Ein- und Ausgabe auf wenige, häufig wiederkehrende Ausdrücke, können die auszugebenden Ausdrücke nach dem Prinzip des Magnetbandgeräts gespeichert und durch eine Steuerelektronik in der entspr. Reihenfolge abgerufen werden. Der Aufwand für p. A. u. E. ist hoch. Ihre Entwicklung wird vor allem für Auskunftssysteme und in Richtung auf einen künftigen „elektronischen Dolmetscher" vorangetrieben.

Photo ... ↑ Foto...

piezoelektrischer Effekt: Erscheinung, daß an den Endflächen zahlreicher Kristalle und entspr. vorbehandelter keramischer Materialien oder aus diesen geschnittener Plättchen, Stäbe u. a. (für die Technik bes. wichtig Quarz, Turmalin, Seignettesalz, Bariumtitanat) elektrische Ladungen auftreten, wenn die Kristalle mechanischen Beanspruchungen unterworfen werden bzw., daß (*umgekehrter p. E.*, auch *Elektrostriktion* genannt) Kristalle in einem elektrischen Feld, z. B. bei Anlegen einer Spannung an gegenüberliegende Endflächen, elastisch verformt werden. Der p. E. wird u. a. in Meßfühlern, Mikrofonen und Tonabnehmern, der umgekehrte p. E. in Lautsprechern und zur Erzeugung von Ultraschall angewendet. Durch Anlegen einer Wechselspannung kann ein piezoelektrischer Kristall zu sehr stabilen hochfrequenten mechanischen Schwin-

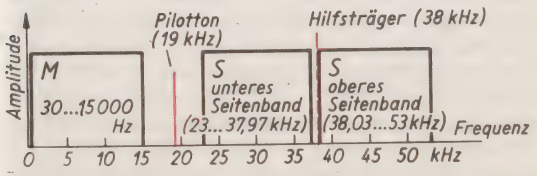
gungen angeregt werden, deren Amplitude ein Maximum erreicht, wenn Eigenfrequenz des Kristalls und erregende Frequenz übereinstimmen. Diese Erscheinung wird zur Frequenzstabilisierung von Oszillatoren und bei Quarzuhren ausgenutzt.

Über kammähnlich ineinandergreifende Elektroden aus piezoelektrischem Material lassen sich mechanische Schwingungen anregen, die sich als Wellen ausschl. an der Kristalloberfläche ausbreiten. Sie werden zur Konstruktion von ↑ Filtern, ↑ Verzögerungsleitungen u. a. genutzt (vgl. Akustoelektronik). Beim *elektronischen Kugelschreiber* laufen von zueinander senkrechten Kanten einer piezoelektrischen Platte über diese periodische Ultraschallimpulse und verursachen durch geringe Verformung des Materials elektrische Spannungen, die als „Fronten" über dessen Oberfläche wandern. Ein Meßfühler in Kugelschreiberform reagiert auf diese Fronten. Aus der jeweiligen Impulslaufzeit Kante-Meßfühler werden elektrische Signale abgeleitet. Sie repräsentieren die Koordinaten des Meßfühlers und ergeben in zeitlicher Folge den Schriftzug. Die Signale können auf einem Bildschirm wiedergegeben oder für späteren Abruf gespeichert werden.

Pilotfrequenz ↑ Trägerfrequenztechnik.

Pilottonverfahren: im UKW-Bereich arbeitendes kompatibles Verfahren der HF-↑ Stereofonie. Zur Übertragung dient ein *Multiplexsignal*, das aufgrund der Kompatibilitätsforderung die volle Information für monofone Übertragung sowie die zusätzliche Richtungsinformation für Stereoübertragungen enthält und im Empfänger eine leichte Trennung beider Informationen ermöglicht.

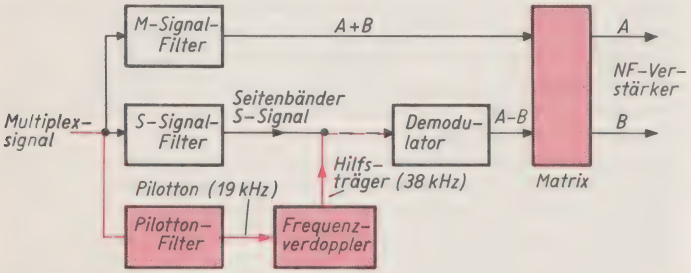
Die bei der Aufnahme erhaltenen Signale A für den linken und B für den rechten Seitenkanal werden einmal addiert und einmal voneinander subtrahiert (vgl. Abb. *2*). Das dabei entstehende Signal $M = A + B$, das beide Seitenkanäle enthält, ist für die monofone Wiedergabe bestimmt und umfaßt einen Frequenzbereich von 30 bis 15 000 Hz. Das Signal $S = A - B$, das die Richtungsinformation enthält, umfaßt den gleichen Frequenzbereich. Um es im Empfänger vom M-Signal trennen zu können, wird mit ihm ein Hilfsträger von 38 kHz amplitudenmoduliert. Das S-Signal erscheint damit in dessen beiden Seitenbändern, die sich von 23 kHz bis 53 kHz erstrecken (Abb. *1*). Der Hilfsträger wird nach der Modulation unterdrückt. Da er jedoch im Empfänger zur Demodulation wieder zugesetzt werden muß, strahlt man in der Lücke zwischen M- und S-In-



Pilottonverfahren, Abb. *1*: Multiplexsignal

formation einen *Pilotton* von 19 kHz, der halben Hilfsträgerfrequenz, aus, der aus Gründen der Leistungsersparnis teilweise unterdrückt wird (eine unmittelbare, nur teilweise Unterdrückung des Hilfsträgers selbst würde seine spätere Verstärkung im Empfänger wegen des nur 30 Hz betragenden Abstands zu den tiefsten Modulationsfrequenzen sehr erschweren). Mit dem also insgesamt 53 kHz breiten Multiplexsignal wird ein UKW-Sender frequenzmoduliert. Empfänger für Übertragungen nach dem P. unterscheiden sich in der Funktion ihrer Baustufen bis nach der Demodulation der frequenzmodulierten ZF-Spannung nicht von Empfängern für monofone Darbietungen. Dem Demodulator folgt ein *Stereodecoder*, der das Multiplexsignal zerlegt (decodiert).

Beim sog. *Matrixdecoder*, wird es zunächst durch Filter in *M*-Signal $(A + B)$, *S*-Signal $(A - B)$ und Pilotton getrennt (Abb. *2*). Das *M*-Signal wird danach unmittelbar der Matrix zugeleitet, einem aus Widerständen und Kondensatoren bestehenden Netzwerk. Aus dem Pilotton wird der 38-kHz-Hilfsträger zurückgewonnen. Das geschieht durch Frequenzverdopplung oder mit Hilfe eines auf 19 kHz schwingenden, vom Pilotton synchronisierten Oszillators, dessen Ausgangsspannung dann verdoppelt wird.



Pilottonverfahren, Abb. *2*: Blockschema eines Matrixdecoders

Der Hilfsträger wird dem *S*-Signal zugesetzt. Nachdem beide einen weiteren Demodulator durchlaufen haben, liegt wieder das urspr. *S*-Signal vor. In der Matrix werden *M*- und *S*-Signal einmal addiert und einmal subtrahiert: $(A + B) + (A - B) = 2\ A$, $(A + B) - (A - B) = 2\ B$. Am Ausgang des Decoders können somit die Signale *A* und *B* für die nachfolgenden NF-Verstärker abgenommen werden (der konstante Proportionalitätsfaktor 2 ist für den Vorgang unwesentlich). Im *Zeitmultiplex-* oder *Abtastdecoder* werden mit Hilfe des zurückgewonnenen Hilfsträgers das *M*- und *S*-Signal in schneller Folge so umgeschaltet, daß an den Decoderausgängen ebenfalls die Signale *A* und *B* erscheinen. Im *Hüllkurvendecoder* nutzt man die Erscheinung, daß durch Zusammenführen des Multiplexsignals und des Hilfsträgers eine amplitudenmodulierte Schwingung entsteht, deren obere und untere Hüllkurve dem *A*- bzw. *B*-Signal

entsprechen. Sie können durch Demodulation zurückgewonnen werden. Ein Empfänger ohne Stereodecoder gibt nur das bereits hinter dem Demodulator für die ZF-Spannung vorhandene *M*-Signal wieder. Bei monofonen Sendungen, bei denen Pilotton und *S*-Signal fehlen, tritt der Decoder nicht in Tätigkeit. Vorhandensein oder Fehlen des Pilottons wird ausgenutzt, um – etwa durch ein Lämpchen – im Empfänger anzuzeigen, ob eine Sendung monofon oder stereofon ausgestrahlt wird. Die selbsttätige Umschaltung von Monofon- auf Stereofonempfang kann durch eine vom Pilotton abgeleitete Steuerspannung ausgelöst werden.

Planartechnik ↑ Halbleitertechnologie.

Plattenspieler: Wiedergabegerät, mit dem die auf einer ↑ Schallplatte gespeicherten Tonfrequenzschwingungen durch einen ↑ Tonabnehmer in Schallschwingungen zurückverwandelt werden. Ein Elektromotor mit konstanter Drehzahl treibt den Plattenteller für die Schallplatte an, und zwar meist über ein Reibradgetriebe, das die Einstellung der Tellerdrehzahl auf die standardisierten Werte 78, 45, $33^1/_3$ und $16^2/_3$ min^{-1} ermöglicht. Der Tonabnehmer ist am Vorderende des *Tonarms* befestigt. Dieser ist so beweglich gelagert, daß die Abtastnadel allen Auslenkungen der Schallrille ungehindert folgen kann. Da insbes. bei der Abtastung von Langspiel-(Mikrorillen-)Schallplatten (LP) der Krümmungsradius an der Spitze der Abtastnadel sehr klein ist, muß der Tonabnehmer, um einen zu hohen Auflagedruck zu vermeiden, so konstruiert sein, daß die Auflagekraft der Abtastnadel sehr gering ist. Aufsetzen und Abheben des Tonarms laufen meistens selbsttätig ab. Zur Wiedergabe werden die vom Tonabnehmer abgegebenen Signale je nach ihrer Frequenz unterschiedlich hoch verstärkt, um die durch die Aufnahme oder die durch die Konstruktion des Tonabnehmers bedingten linearen ↑ Verzerrungen auszugleichen. Die Leistungsverstärkung geschieht häufig mit dem NF-Verstärker eines Rundfunkempfängers, an dem dann Lautstärke und Klang eingestellt werden. Daneben sind P. mit eigenem NF-Verstärker (und Lautsprecher oder Stereoboxen) verbreitet. Manche P. enthalten überdies ein HF-Teil mit Demodulator zum Empfang von Rundfunksendern. In *Plattenwechslern* und *Plattenspielautomaten* (Musikboxen) werden Abspielen und Auswechseln der Platten mit Hilfe elektromechanischer und -motorischer Antriebe gesteuert.

Playback-Verfahren [engl., svw. Rückspielen]: Anwendung elektroakustischer Hilfsmittel und Methoden, um optisch-akustische oder bloße akustische Darbietungen in ihren Komponenten zeitlich nacheinander aufzunehmen und nachträglich für gleichzeitige Wiedergabe zusammenzufügen. Um z. B. bei Film- und Fernsehaufnahmen von Sprechern, Sängern, Orchestern u. a. trotz ungünstiger akustischer Verhältnisse (Aufnahmen im Freien, störende Geräusche, Schwierigkeiten, das Mikrofon nachzuführen u. ä.) einen hochwertigen Begleitton zu erhalten, erfolgt zunächst die Schallaufnahme unter optimalen Studiobedingungen. Sie wird bei der späteren optischen Aufnahme über Lautsprecher wiedergegeben, wobei die Darsteller nur „markieren", d. h. sich in Mund-

bewegung und Gesten nach dem im voraus aufgenommenen Ton richten. Für ausschl. akustische Aufnahmen wird das P. angewendet, um Stimmen nachträglich in eine Aufnahme einzufügen, die „mehrstimmige" Wiedergabe einer Gesangsdarbietung durch den gleichen Sänger, aber in verschiedenen Tonlagen, zu ermöglichen oder um bes. Klangeffekte zu erreichen.

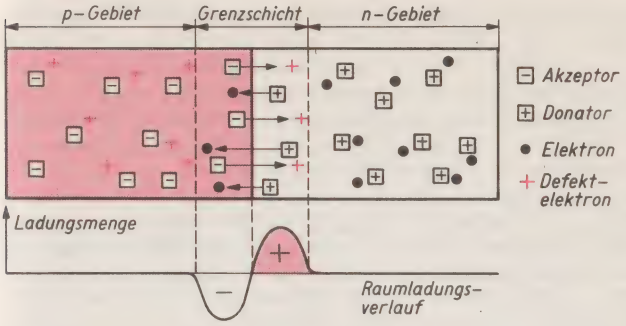
***p*-Leitung** ↑ Halbleiter.

PLM ↑ Modulation.

Plotter [von engl. to plot, entwerfen, auswerten]: **1.** *Radar*: Einrichtung oder Zusatzeinrichtung eines Schiffsradargeräts zur Auswertung von Radarschirmbildern, früher häufig eine Mattglasscheibe, auf die das Schirmbild zu zeichnerischer Auswertung geworfen wurde. Elektronische P. speichern die Koordinaten aller erfaßten Radarziele für einstellbare Zeitabstände, z. B. aller 3 Minuten. Auf Abruf erscheinen die Radarziele an den gespeicherten Koordinaten auf dem Bildschirm als Folge von Punkten, aus deren Abstand und Verbindungsrichtung sich Kurs und Geschwindigkeit ergeben. Wird dem P. eine beabsichtigte Kurs- und bzw. oder Geschwindigkeitsänderung eingegeben, entsteht auf der Grundlage der gespeicherten Koordinaten ein Schirmbild, wie es sich für bereits vollzogene Fahrtänderung ergeben würde. Mögliche Auswirkungen der Änderung, z. B. Kollisionskurse und Passierabstände, sind im voraus zu übersehen. – **2.** *EDVA*: Zeichengerät, dessen Zeichenmaterial von einer rotierenden Trommel geführt wird, während die Schreibeinrichtung parallel zur Trommellängsachse läuft. Die Darstellung setzt sich aus sehr kurzen Geradenstücken zusammen.

Plumbikon ↑ Bildaufnahmeröhre.

***pn*-Übergang:** örtlich eng begrenzter Bereich zwischen *p*- und *n*-Leitung in einem ↑ Halbleiter. Seine wichtigste Eigenschaft ist eine Ventilwirkung, d. h., er setzt dem Stromfluß in der einen Richtung einen sehr geringen, in der Gegenrichtung einen sehr hohen Widerstand entgegen. Ein Stück einkristallines Halbleitermaterial, z. B. Germanium oder Silizium, wird so dotiert, daß sich *p*- und *n*-Gebiet in einer Fläche berühren. Das in jedem Gebiet urspr. vorhandene Ladungsgleichgewicht wird in der Nähe der Berührungsfläche gestört, da durch den Konzentrationsunterschied zwischen beiden Gebieten Elektronen aus dem *n*-Gebiet in das grenznahe *p*-Gebiet diffundieren, Defektelektronen dagegen aus dem *p*-Gebiet in das grenznahe *n*-Gebiet. In der Grenzschicht bleiben ortsfeste, von beweglichen Ladungsträgern entblößte Akzeptor- bzw. Donatoratome zurück, so daß sich im grenznahen *p*-Gebiet eine negative, im grenznahen *n*-Gebiet eine positive Raumladung ausbildet. Infolge dieser Ladungsverteilung entsteht zwischen beiden ein inneres elektrisches Feld und damit eine (von außen nicht unmittelbar zugängliche) *Diffusionsspannung*, deren Größe i. allg. einige Zehntel Volt beträgt. Das elektrische Feld in der Raumladungszone wirkt der weiteren Ladungsträgerdiffusion entgegen; es stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein. Wird an den *pn*-Ü. eine äußere Spannung gelegt, so entsteht in der Grenzschicht



Zur Wirkung des *pn*-Übergangs

ein zusätzliches elektrisches Feld, das entscheidenden Einfluß auf die Vorgänge in dieser Zone hat. Wird der positive Pol der Spannungsquelle mit dem *n*-Gebiet, der negative mit dem *p*-Gebiet verbunden, dann werden Ladungsträger aus dem Grenzgebiet abgezogen. Die Grenzschicht wird breiter, leitet kaum noch und wird zur *Sperrschicht*; lediglich ein geringer, durch die Eigenleitung verursachter Sperrstrom fließt. Liegt hingegen der positive Pol der Spannungsquelle am *p*-Gebiet, der negative am *n*-Gebiet, so werden in beiden Gebieten Ladungsträger in Richtung zum *pn*-Ü. bewegt. Die Grenzschicht wird von Ladungsträgern überschwemmt, ihre Breite wird geringer und die Leitfähigkeit erreicht hohe Werte, wobei in der Raumladungszone zahlreiche Ladungsträger rekombinieren. Gegenüber einer Wechselspannung zeigt der *pn*-Ü. daher Gleichrichtereigenschaften. Darauf beruht seine große Bedeutung für die Halbleitertechnik (vgl. Diode 2, Transistor). Ein *pn*-Ü. kann auch an der Berührungsstelle Halbleiter/Metall entstehen. Dies wird einerseits z. B. in Spitzendioden und Selengleichrichtern ausgenutzt, anderseits können unerwünschte *pn*-Ü. Halbleiter/Metall die Arbeitsweise von Halbleiterbauelementen empfindlich stören. Die Herstellung sog. „Ohmscher" oder sperrschichtfreier, d. h. von der Stromrichtung unabhängiger, Kontakte zwischen Halbleiter und Metall ist daher ein wichtiges Teilproblem bei der Produktion von Halbleiterbauelementen.

Polarkoordinatenröhre ↑ Oszillographenröhre.

Potentiometer ↑ Spannungsteiler.

PPM ↑ Modulation.

PROM ↑ Speicher 2.

Prozeßrechner: elektronischer Rechenautomat zur Überwachung, Steuerung und Regelung sowie Führung von Prozeßabläufen bes. in der Produktion und im Verkehrswesen. Arbeitsprinzip des P. ist es, aus den während des Prozeßverlaufs anfallenden spezifischen, in Gestalt von Meßwerten vorliegenden Parametern unmittelbar wirksame Anweisungen für die Prozeßführung zu gewinnen. Als P. werden ↑ Analogiere-

chenautomaten und ↑ Digitalrechenautomaten verwendet. P. im *Open-loop-Betrieb* [engl., offene Schleife] geben Informationen bes. durch Instrumentenanzeige, aber auch über Lochbänder o. a. aus, die vom Menschen ausgewertet und in Anweisungen umgesetzt werden. P. im *Closed-loop-Betrieb* [engl., geschlossene Schleife] geben Steueranweisungen unmittelbar an die Stellglieder der zu steuernden Anlage; der Mensch greift nur in Ausnahmefällen unmittelbar ein.
Alle wichtigen Parameter des Prozesses werden durch Meßwertaufnehmer erfaßt, deren Signale dem P. gleichzeitig oder nach einem Programm über Meßstellenumschalter in digitaler Form zugeführt werden. Die Steueranweisungen werden aus den einlaufenden Informationen mit Hilfe der im P. gespeicherten Programme gebildet. Diese sind meist so ausgelegt, daß der P. den Prozeß optimal führt.
Durch *prioritätsgesteuerte Programmunterbrechung* wird der Programmablauf abgebrochen bzw. geändert, wenn Ereignisse höherer Dringlichkeit dies erforderlich machen (z. B. Überschreitung von Grenzwerten, drohende Havarie). P. müssen, da sie im ↑ Echtzeitbetrieb und ständig arbeiten, hohe Arbeitsgeschwindigkeit und Zuverlässigkeit (keine Unterbrechung bei Netzausfall) aufweisen. Sie sind, wie z. B. das in der DDR entwickelte Prozeßrechnersystem „PRS 4000", meist für den Anschluß zahlreicher ↑ Peripheriegeräte, für die Kommunikation mit anderen Rechnern usw. eingerichtet. P. werden gegenwärtig vor allem für kontinuierlich ablaufende Prozesse mit vielen deren Ablauf beeinflussenden Faktoren eingesetzt, z. B. für die chemische, metallurgische Industrie, Energiewirtschaft, Ampelsteuerung in Großstädten, Zugüberwachung und -zusammenstellung auf Bahnhöfen.

PTC-Widerstand ↑ Thermistor.

Pufferbetrieb: Bereitstellung von Gleichstrom aus einer Stromquelle mit parallel geschalteten Akkumulatoren als *Pufferbatterie*. P. wird angewendet, wenn der Leistungsbedarf die Leistungsfähigkeit der Stromquelle kurzzeitig überschreitet (z. B. während der Sendezeiten einer aus Sonnenbatterien gespeisten Raumsonde), wenn ein möglicher Ausfall der Stromquelle überbrückt werden soll (z. B. Notbeleuchtungsanlagen). Bei niedrigem Leistungsbedarf lädt die Stromquelle auch die Pufferbatterie auf, bei hohem Bedarf gibt diese die gespeicherte Energie an den Verbraucher ab (vgl. Sonnenbatterie).

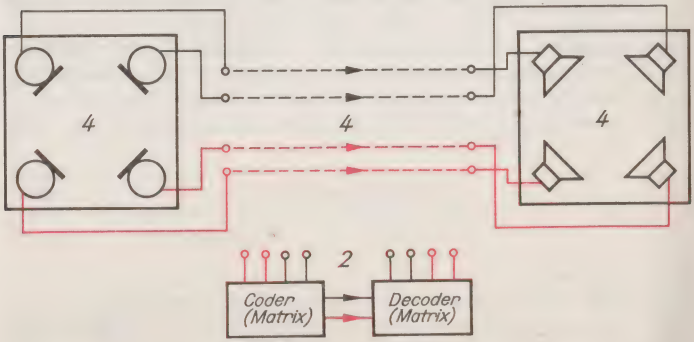
Puffer(speicher) ↑ Peripheriegeräte.

Puls: periodische oder annähernd periodische Folge von gleichgeformten ↑ Impulsen. Die Anzahl der Impulse/s heißt *P.frequenz* oder *Impulsfolgefrequenz*.

Q

Quadrofonie: Bez. für elektroakustische Übertragungsverfahren, die in Erweiterung der ↑ Stereofonie zusätzliche räumliche Informationen, bes. über den im Aufnahmeraum reflektierten, indirekten Schall, übertragen. Die Grundanordnung besteht aus 4 Mikrofonen (rechts vorn und hinten, links vorn und hinten) im Aufnahme- und 4 diesen zugeordneten, entspr. aufgestellten Lautsprechern im Wiedergaberaum (Abb.). Je nach Übertragungs- bzw. Speicherungsmethode unterscheidet man *diskrete Q.-Verfahren* mit einem aus 4 voneinander unabhängigen Kanälen bestehenden Übertragungsweg (*4-4-4-Technik*), d. h. 4 Mikrofone, 4 Kanäle, 4 Lautsprecher, und *Matrix-Q.-Verfahren*, deren ursprünglich 4 Signale in einem Coder durch eine Matrixschaltung paarweise verschlüsselt, auf 2 Kanälen übertragen und in einem Decoder wieder zu 4 Signalen entschlüsselt werden (*4-2-4-Technik*). Zu den diskreten Q.-Verfahren zählt die 4spurige Speicherung auf Magnetband. Durch paarweises Zusammenschalten der 4 Aufnahmeköpfe bzw. entspr. Lage der 4 Spuren ist Wiedergabe mit 2kanaligen Stereoanlagen möglich. Beim *CD-4-Verfahren* [engl. *C*ompatible *D*iscrete *4*-Channel System, kompatibles diskretes 4-Kanal-System] für Schallplatten-Q. sind in jeder Flanke der Plattenrille 2 Informationen gespeichert: 2 für Kompatibilität mit Stereoanlagen erforderliche Summensignale (rechts bzw. links vorn und hinten) und 2 einem 30-kHz-Hilfsträger frequenzmoduliert aufgeprägte Differenzsignale (rechts bzw. links vorn und hinten). Diese 4 Informationen werden übertragen und nach Decodierung und Demodulation den Wiedergabelautsprechern zugeführt.

Zu den Matrix-Q.-Verfahren zählt das *SQ-Verfahren* [engl. *S*tereo *Q*uadrofonic, quadrofonische Stereo(übertragung)]. Die 4 Eingangssignale werden über eine Matrixschaltung zweikanalig verschlüsselt und



Quadrofonie: Schema von 4-4-4- und 4-2-4-Technik

der Plattenrille so eingeprägt, daß bei Q.aufzeichnungen die Abtastnadel zusätzliche (bei Stereofonie nicht störende) Bewegungen ausführt; in einem Decoder werden die 4 ursprünglichen Signale zur Wiedergabe zurückgewonnen.
Für drahtlose Q.übertragungen werden diskrete und Matrix-Q.-Verfahren untersucht und erprobt. Schwierigkeiten ergeben sich u. a. aus der geforderten Kompatibilität mit Stereo- und Monoempfängern sowie aus der Notwendigkeit, die zusätzlichen Signale (z. B. als modulierte Hilfsträger) in das Multiplexsignal des ↑ Pilottonverfahrens einzuordnen.
Als *Pseudo-Q.* bez. man Verfahren, bei denen Schallereignisse stereofon aufgenommen und übertragen werden, bei der Wiedergabe jedoch durch ,,technische Bearbeitung" (z. B. Subtraktion und Phasendrehung der Seitenkanäle) Zusatzsignale zur Abstrahlung über weitere Lautsprecher und zur Simulierung räumlicher Informationen gewonnen werden (*2-2-4-Technik*).

Quantenelektronik: Teilgebiet der Elektronik, für dessen Erscheinungen die Quantenstruktur der elektromagnetischen Strahlung bestimmend ist, die man mit Hilfe sehr genauer Nachweis- und Meßverfahren ermittelt. Aufgaben der Q. sind Erforschung und Anwendung dieser sich vorwiegend im Höchstfrequenzbereich abspielenden Erscheinungen, bei denen ,,jedes Atom als Mikro-Sender" anzusehen ist. Die Energie eines Strahlungsquants ist sehr gering, wächst aber frequenzproportional. In den von der HF-Technik vorwiegend benutzten Bereichen des elektromagnetischen Spektrums sind auch an schwächsten durch Empfänger nachweisbaren Strahlungsenergien soviele Quanten beteiligt, daß nur der Wellencharakter der elektromagnetischen Strahlung, nicht aber ihre ,,teilchenhafte Struktur" in Erscheinung tritt. Das ändert sich, beginnend etwa im cm-Wellenbereich, mit wachsender Frequenz. Die Q. ist in schneller Entwicklung begriffen und hat z. B. in der ↑ Hochfrequenzspektroskopie, bei der Untersuchung von Plasmen und bei der Entwicklung quantenmechanischer Verstärker (↑ Laser, ↑ Maser) größte Bedeutung erlangt.

Quarzstabilisierung, *Quarzsteuerung*: Anwendung des umgekehrten ↑ piezoelektrischen Effekts zur Steuerung von ↑ Oszillatoren hoher Frequenzkonstanz.

R

Racon ↑ Radar.

Radar [Abk. für engl. *R*adio *D*etecting and *R*anging, etwa Entdecken und Orten mit Radiowellen], *Funkmeßtechnik*: Verfahren und zugleich Bez. für die zugehörigen Geräte, mit denen sich Entfernung und Richtung oder auch die Geschwindigkeit von Objekten durch von diesen reflektierte

elektromagnetische Wellen feststellen lassen. Nach der Ausstrahlungsweise der beim R. benutzten Wellen unterteilt man die Geräte in *Impuls-* und *CW-R.* (auch *Dauerstrich-R.* genannt), nach der Quelle der vom Objekt zurückkehrenden Strahlung in *Primär-* und *Sekundär-R.* Die beim R.verfahren benutzten Frequenzen erstrecken sich vom mm- bis in den m-Wellenbereich. Ihre Wahl hängt von Reichweite und *Winkelauflösungsvermögen* des Gerätes ab, d. h. seiner Fähigkeit, Objekte in gleicher Entfernung und mit geringem Richtungsunterschied trennen zu können. Bei gegebener Antennengröße steigt das Winkelauflösungsvermögen mit sinkender Wellenlänge. Anderseits begrenzen bei einer Wellenlänge < 5 cm die Dämpfung durch Regen und Schnee und bei weiter sinkender Wellenlänge die Dämpfung durch atmosphärischen Wasserdampf und Sauerstoff die Reichweite des R.

1. Primär-Impuls-R. (Abb. *1*) werden am häufigsten angewendet. Der R.sender strahlt über eine Richtantenne primäre HF-Impulse, *Suchimpulse*, aus. Treffen sie ein Objekt, so wird die Impulsenergie teilweise reflektiert und einen Bruchteil dieser reflektierten Energie nimmt der R.empfänger als *Echoimpuls* auf. Die Bez. Primär-R. rührt also daher, daß ein Teil der Primär-Impulse zurückgestrahlt und empfangen wird; da sich dabei das Objekt völlig passiv verhält, spricht man auch von „passiver Rückstrahlung", im Unterschied zum Sekundär-R. (vgl. 2., S. 295). Da sich die Wellen nahezu geradlinig und mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, ist die Entfernung zum Objekt durch Messen der Laufzeit von Such- und Echoimpuls feststellbar. Die Richtung zum Objekt ergibt sich aus der Antennenstellung. Wichtige Kennwerte der von der R.antenne abgestrahlten Impulse sind Impulsleistung, -folgefrequenz und -dauer. Die Impulsleistung richtet sich vor allem nach der geforderten Reichweite und kann bis zu mehreren 10 MW betragen. Die Impulsfolgefrequenz, etwa zwischen 100 und 5000 Impulsen/s, hängt von der größten zu messenden Entfernung ab. Sie muß so niedrig sein, daß ein 2. Suchimpuls die Antenne erst verläßt, wenn aus der größten Meßentfernung das Echo des ersten den R.empfänger erreicht hat; sonst treten Mehrdeutigkeiten auf. Anderseits soll bei rotierenden R.antennen das Objekt für eine deutliche Anzeige während eines Antennendurchgangs von hinreichend vielen Suchimpulsen getroffen werden. Daher sind auch Antennendrehzahl und -richtungsdiagramm bei der Festlegung der Impulsfolgefrequenz zu be-

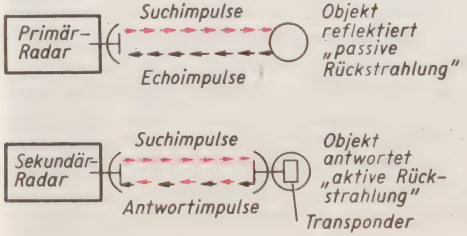


Abb. *1*: Radarmethoden

rücksichtigen. Die Impulsdauer (zwischen 0,05 und 5 μs) bestimmt das *Entfernungsauflösungsvermögen* des R., d. h. seine Fähigkeit, in radialer Richtung hintereinander liegende Objekte getrennt aufzufassen. Jeder Impuls wandert durch den Raum als Wellenzug, dessen Länge durch die Impulsdauer bestimmt wird (bei 1 μs z. B. 300 m). Infolgedessen liefern hintereinander liegende Objekte nur dann getrennte Echoimpulse, wenn ihr Abstand größer ist als die Hälfte der Länge eines Wellenzuges.
Die für die Steuerung des R.senders, des -empfängers und der ihm folgenden Anzeigegeräte benötigten Steuerimpulse werden im *Muttergenerator* (auch *Impulszentrale* genannt, Abb. *2*) erzeugt. An seine Stabilität werden bes. hohe Anforderungen gestellt, da sie über exakte Funktion und Zusammenwirken der Baugruppen des R. entscheidet. Man geht häufig von einer leicht stabilisierbaren Sinusschwingung aus, die nachträglich zu den geforderten Impulsen geformt wird. Die Impulse hoher Leistung und von meist rechteckiger Form zur Tastung des Senders werden im *Modulator* gewonnen, der vom Muttergenerator gesteuert wird. Arbeitsprinzip des Modulators ist, während der Impulspausen

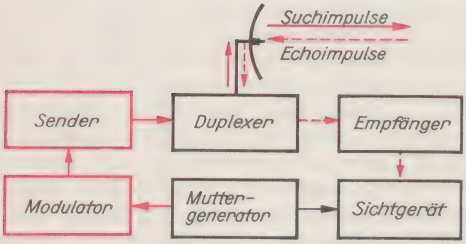


Abb. *2*: Blockschema eines Radargeräts

Energie zu speichern und diese in dem durch Impulsdauer und -folgefrequenz vorgeschriebenen Rhythmus dem Sender zuzuleiten.
Der *R.sender* setzt die vom Modulator abgegebene Energie in Höchstfrequenz-Impulse um. Er ist meist mit einem ↑ Magnetron, teils mit einem ↑ Klystron und für eine Sendefrequenz < 1 GHz mit Senderöhren bestückt. Da die Impulsdauer gegenüber der Impulspause kurz ist (Verknüpfung über Impulsfolgefrequenz), ist die Leistung jedes abgestrahlten Impulses 10^3- bis 10^4fach stärker als die zur Speisung des Senders ständig aufzubringende mittlere Leistung.
Die *R.antenne* ist meist gleichzeitig Sende- und Empfangsantenne. Abmessungen, Form und Richtungsdiagramm ergeben sich aus der Aufgabe des R.geräts: Feststehende oder um einen geringen Betrag schwenkbare R.antennen z. B. können größer sein als rotierende; Schiffs-R.antennen müssen zugunsten hoher Winkelauflösung in der waagerechten Ebene ein Richtungsdiagramm in Form einer schmalen, langgestreckten Keule haben; R.antennen zur Verfolgung von Einzelobjekten im Luft- oder Weltraum benötigen ein in allen Ebenen schmales Richtungsdiagramm.

R.antennen, die im m- und dm-Wellenbereich strahlen und empfangen, werden häufig aus Gruppen von Dipol- und Yagi-Antennen zusammengesetzt. Durch bes. Schaltungsmaßnahmen kann das Richtungsdiagramm in seiner Form verändert und bei feststehender Antenne um einen bestimmten Betrag „elektrisch" geschwenkt werden. Für cm- und mm-Wellen werden vorwiegend Flächenantennen benutzt. Ihr Spiegel hat die Form eines Paraboloids oder eines Paraboloidausschnitts, der Erreger (Dipol, Hornstrahler) ist im Brennpunkt angebracht. Auch Schlitzstrahl-Antennen (bis 3 m Länge) sowie dielektrische Antennen (Stielstrahler) finden Verwendung (vgl. Antenne). Die Verbindung zwischen R.antenne und -sender bzw. -empfänger erfolgt im cm- und mm-Wellenbereich über ↑ Hohlleiter, bei längeren Wellen meist über ↑ Koaxialkabel. Um die Leitungsverluste niedrig zu halten, werden der Sender und die Eingangsstufen des Empfängers (Mischstufe, Oszillator und ZF-Vorverstärker) in unmittelbarer Antennennähe installiert. Die übrigen Baustufen des R. können abgesetzt werden.

Zwischen Antenne und Sender bzw. Empfänger ist ein *Duplexer* (Sende-Empfangs-Weiche) geschaltet, der die leistungsstarken Suchimpulse vom Empfänger fernhält und ein Abfließen der Echoimpulse zum Sender unterbindet. Der Duplexer enthält 2 (mitunter nur 1) ↑ Sperr-Röhren. Sie zünden zu Beginn eines jeden Sendeimpulses, schließen dabei den Empfängereingang kurz und verbinden den Sender mit der Antenne. Während der Impulspausen sind die Sperr-Röhren gelöscht, die Antenne ist vom Sender getrennt und liegt am Empfängereingang. Die Leistung der Echoimpulse, die vom *R.empfänger* zu verarbeiten sind, hängt von der Leistung der Suchimpulse, der Entfernung und den Reflexionseigenschaften des Objekts ab und ist meist sehr gering (10^{-12} bis 10^{-14} W). An Empfindlichkeit und Verstärkung des R.empfängers werden daher sehr hohe Forderungen gestellt. Er arbeitet stets als ↑ Superhet. Zur ↑ Mischung wird eine Halbleiterdiode benutzt, der ↑ Oszillator ist meist mit einem Reflex-↑ Klystron, manchmal auch mit einem Varaktor (↑ Diode 2.2.) bestückt. Da Empfänger und Sender stets genau auf die gleiche Frequenz abgestimmt sein müssen, wird der Oszillator bei Frequenzabweichungen des Senders durch eine automatische Frequenzregelung nachgestimmt (vgl. Scharfabstimmung, automatische). Bei den meisten R.empfängern für cm- oder mm-Wellen wird der Echoimpuls von der Antenne unmittelbar der Mischstufe zugeführt. dm- und m-Wellenempfänger enthalten oft einen HF-Verstärker vor der Mischstufe. Er sowie bei solchen Geräten auch die Mischstufe und der Oszillator sind häufig mit Scheibentrioden oder Wanderfeldröhren bestückt. Bei manchen R.anlagen für sehr große Entfernung (militärischer Bereich, Raumfahrt) ist der Mischstufe zur Erhöhung der Empfindlichkeit ein rauscharmer ↑ Maser oder ein parametrischer ↑ Verstärker vorgesetzt.

Die in der Mischstufe erhaltene ZF-Spannung (Frequenz z. B. 30 MHz) wird, wenn die Mischstufe direkt an der R.antenne angebracht ist, vorverstärkt und über Kabel dem abgesetzten eigentlichen ZF-Verstärker

zugeführt. Es folgt ein Demodulator, dessen Ausgangssignal nochmals verstärkt wird und das Sichtgerät steuert.

Im *Sichtgerät* werden die im R.empfänger aufbereiteten Echoimpulse auf dem Bildschirm (bis etwa 40 cm Durchmesser) einer Elektronenstrahlröhre optisch zur Auswertung dargestellt. Zur Entfernungsmessung löst der Muttergenerator im Augenblick der Ausstrahlung eines Suchimpulses eine ↑ Kippschwingung aus, die die Spitze des Elektronenstrahls mit gleichbleibender Geschwindigkeit über den Bildschirm führt. Beim Eintreffen eines Echoimpulses wird die so geschriebene Linie senkrecht zu ihrer Bewegungsrichtung ausgelenkt oder aufgehellt, d. h. der Echoimpuls erscheint als Zacken oder als Leuchtfleck darauf. Sein Abstand vom Ausgangspunkt der Strahlbewegung ist der Laufzeit von Such- und Echoimpuls und somit der Entfernung des erfaßten Objekts proportional. Da diese Vorgänge sich für jeden Such- bzw. Echoimpuls wiederholen und der Bildschirm nachleuchtet, bleiben Zacken bzw. Leuchtfleck ununterbrochen sichtbar. Von zahlreichen Möglichkeiten der Anzeige erlangten die im folgenden genannten bes. Bedeutung:

Bei sog. *A-Anzeige* schreibt der Elektronenstrahl eine waagerechte Meßlinie auf den Bildschirm und springt jeweils vom Linienende an den Anfang zurück. Die vom Demodulator kommenden Steuerspannungen werden an die Ablenkspulen bzw. -platten für die senkrechte Ablenkung gelegt. Werden mehrere Objekte gleicher Richtung, aber verschiedener Entfernung aufgefaßt, so erscheinen mehrere Zacken. Die Entfernungen lassen sich an einer Skale auf dem Bildschirm oder an in das Schirmbild eingeblendeten Markenimpulsen ablesen, die bestimmten Entfernungen entsprechen und ebenfalls mittels des Muttergenerators erzeugt werden. Die sog. *J-Anzeige* unterscheidet sich von der *A-Anzeige* dadurch, daß mit einer Polarkoordinatenröhre (↑ Oszillographenröhre) die Meßlinie als Kreis geschrieben wird. Da dieser gegenüber einer Waagerechten eine größere Länge hat, erhöht sich die Ablesegenauigkeit.

Bei A- und J-Anzeige muß der Winkelwert über die jeweilige Antennenstellung ermittelt werden. Das erschwert die Auswertung, bes. wenn Objekte in verschiedenen Richtungen gleichzeitig beobachtet werden sollen. Von den verschiedenen Möglichkeiten einer zweidimensionalen Anzeige (meist nach Azimut und Entfernung) hat die beim *Rundsicht-R.* verwendete *PPI-Anzeige* [Abk. für engl. *P*lan *P*osition *I*ndication, etwa „grundrißähnliche Anzeige", Abb. *3*] die größte Bedeutung erlangt. Die Antenne des Rundsicht-R. rotiert ständig um eine senkrechte Achse und strahlt Suchimpulse in alle Richtungen. Durch elektrische Übertragung drehen sich die um den Kolbenhals der Elektronenstrahlröhre angeordneten Ablenkspulen synchron mit der Antenne. Die mit Hilfe der Ablenkspulen erzeugte Meßlinie beginnt in der Schirmmitte und weist zum Rand. Sie wird „mitgenommen" und läuft wie ein Zeiger über den Bildschirm. Ihre Helligkeit wird soweit herabgesetzt, daß sie nur schwach oder gar nicht sichtbar ist. Kehren Echoimpulse von einem Objekt zurück, so erhöhen die daraus gewonnenen Spannungen über den Wehnelt-Zylinder

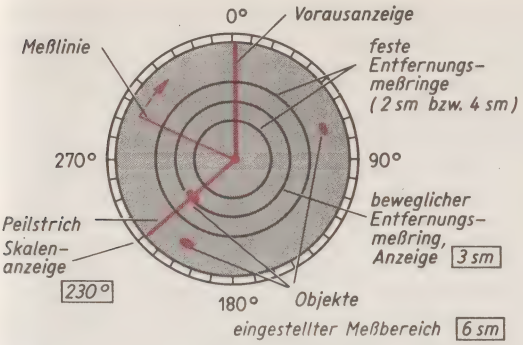


Abb. 3: Radar-Schirmbild bei PPI-Anzeige

der Elektronenstrahlröhre die Helligkeit der Meßlinie in Form eines Leuchtflecks, dessen Abstand vom Schirmmittelpunkt der Entfernung des Objekts entspricht. Sein Azimut – das aufgrund der synchronen Rotation Antenne-Ablenkspulen der jeweiligen Antennenstellung (-richtung) entspricht – kann auf einer Skale am Bildschirmrand in Winkelgraden, z. B. auf Nord bezogen, abgelesen werden. Die Nachleuchtdauer des Bildschirms ist so gewählt, daß der Leuchtfleck während einer vollen Antennendrehung (einem vollen Meßlinienumlauf) nur wenig an Helligkeit verliert. Daher zeichnen sich alle in Reichweite des R. befindlichen Objekte gleichzeitig ab, d. h., das Schirmbild gibt eine schematisierte, maßstäbliche Darstellung des optischen Bildes, das ein Beobachter am Standort des Rundsicht-R. hätte.

Das *Schiffs-R.* an Bord dient dem Erkennen anderer Wasserfahrzeuge, von Tonnen, Eisbergen u. a. bei schlechten Sichtbedingungen (*Kollisionsschutzgerät*). In Küstennähe ist es außerdem eine wertvolle Navigationshilfe, da sich reflektierende Objekte (Berge, Gebäude, Stahlkonstruktionen, Leuchttürme, häufig auch die Küstenlinie) als Leuchtflecke oder als zusammenhängende Leuchtfleckenreihe abzeichnen. Schiffs-R. sind stets Rundsicht-R. Wegen der geringen Antennenhöhe ist ihre Reichweite begrenzt (i. allg. max. 48 sm). Eine Impulsleistung zwischen 3 und 75 kW ist ausreichend und wird meist auf Wellenlängen um 3 cm (seltener um 10 cm) abgestrahlt; die Antennendrehzahl beträgt 10 bis 25 min^{-1}. Zahlreiche Hilfsmittel und Zusatzeinrichtungen erleichtern die Bedienung und die Auswertung des Schirmbilds. Durch Veränderbarkeit der Ablenkgeschwindigkeit des Elektronenstrahls lassen sich mehrere Entfernungsmeßbereiche (z. B. 0,75 – 1,5 – 3 – 6 – 12 – 24 – 48 sm bei einem Seeschiffs-R., 400 – 800 – 1200 m – 2 – 5 – 10 km bei einem Binnenschiffs-R.) einschalten. Die *Vorausanzeige* macht auf dem Bildschirm die Vorausrichtung, d. h. die augenblickliche Fahrtrichtung, sichtbar. Jedesmal, wenn die Antenne die Fahrtrichtung durchläuft, schließt sie

Kontakte, durch deren Wirkung die Meßlinie eine ganze Ablenkung des Elektronenstrahls lang aufgehellt wird. Zur einfacheren Azimutbestimmung eines Objekts wird ein ebenfalls durch Aufhellen der Meßlinie erzeugter *Peilstrich* auf den Bildschirm geschrieben und gedreht, bis er den Leuchtfleck des Objekts schneidet; das Azimut ist am Bildschirmrand ablesbar. Um den Schirmmittelpunkt konzentrische *Entfernungsmeßringe* werden aus Impulsen vom Muttergenerator gewonnen: Die Meßlinie wird jeweils an Stellen aufgehellt, die bestimmten Entfernungen entsprechen; da sie umläuft, entstehen Kreise. Beim einstellbaren *Entfernungsmeßring* kann der Radius verändert werden, bis der Leuchtfleck des Objekts geschnitten wird. An einer Skale neben dem Bedienungsknopf wird die Entfernung angezeigt. Die *Nahechodämpfung* (*Seegangenttrübung*) setzt, vom Muttergenerator gesteuert, die Verstärkung des R.empfängers für eine kurze Zeitspanne im Anschluß an den Abgang eines Suchimpulses herab. Reflexionen von Wellenkämmen in Schiffsnähe, die häufig so kräftige Leuchtflecke hervorrufen, daß Zeichen erfaßter Objekte demgegenüber nicht hervortreten, können erheblich gedämpft werden. Schiffs-R. bieten an sich eine *Relativanzeige* [engl. *Relative Motion*, Abk. *RM*]: Der Beobachter steht scheinbar im Bildschirmmittelpunkt, Geschwindigkeit und Kurs des eigenen Schiffs übertragen sich auf die vom R. erfaßten Objekte. Ruhende Objekte scheinen sich entgegen dem Schiffskurs zu bewegen, bewegte Objekte durchlaufen scheinbare Kurse, die mit ihrem wirklichen Kurs nicht übereinstimmen. Das kann zu Fehlinterpretationen des Schirmbilds und damit zur Kollisionsgefahr führen.

Die meisten modernen Schiffs-R.typen sind daher zusätzlich zur Relativmit *Absolutanzeige* [engl. *True Motion*, Abk. *TM*, wahre Bewegung] ausgestattet. Sie liefert ein Bild, wie es der Beobachter aus der Vogelschau sehen würde: Der eigene Standort wandert, Kurs und Geschwindigkeit entspr., über den Bildschirm. Ortsfeste Objekte ruhen auf dem Bildschirm, bewegte werden mit ihrem tatsächlichen Kurs wiedergegeben. Der Ausgangspunkt der umlaufenden Meßlinie wird dazu durch zusätzliche Ablenkspannungen, die aus Kreiselkompaß- und Logwerten abgeleitet werden, auf dem Bildschirm verschoben. Auswertungshilfen, wie Peilstrich und Entfernungsmeßringe, wandern mit und können weiterbenutzt werden. Ist der eigene Standort bis zum Bildschirmrand gewandert, so wird ein akustisches und bzw. oder optisches Signal gegeben, bei dessen Nichtbeachtung zahlreiche R.geräte selbsttätig auf Relativanzeige zurückschalten. R. für die Binnenschiffahrt brauchen keine großen Entfernungen zu überbrücken, müssen aber hohes Entfernungs- und Winkelauflösungsvermögen haben und arbeiten daher im mm-Wellenbereich.

Hafen-R.anlagen, ebenfalls Rundsicht-R.geräte, unterstützen die Lotsen bei der Ein- und Ausfahrt in verkehrsreichen Fahrwassern unter schlechten Sichtbedingungen. Die Anlagen werden an wichtigen Küstenpunkten oder am Ufer von Strommündungen – z. T. als *R.ketten* (z. B. Hamburg,

London, Liverpool, Rotterdam, Southampton) – aufgestellt und alle Schirmbilder an eine Zentrale übermittelt, von der aus über Sprechfunk Informationen an die Lotsen gegeben werden. Zur leichteren Auswertung der Schirmbilder werden in der See- und Binnenschiffahrt Seezeichen, markante Küsten- bzw. Uferpunkte, Schiffahrtshindernisse, Rettungsmittel u. a. mit *R.reflektoren* ausgerüstet, nach Art eines Winkelspiegels zusammengesetzte metallische Flächen, die einfallende Wellen in die Herkunftsrichtung reflektieren und so bes. deutliche Zielzeichen hervorrufen.

R. in der Luftfahrt. Bodenstationen für die Flugüberwachung (-sicherung) sind fast stets Rundsicht-R. Die größte Meßentfernung beträgt zwischen 150 und 300 km, die Impulsleistung 500 kW oder mehr. Eine Wellenlänge um 10 cm und eine Antennendrehzahl von 15 min^{-1} werden bevorzugt. Rundsicht-R.anlagen zur Bahnverfolgung von Raumflugkörpern sowie für die Landesverteidigung haben, bei entspr. Abwandlung der technischen Parameter, eine Reichweite von vielen 100 km und darüber. Nach Messen der Schrägentfernung zum Objekt mit Hilfe des Rundsicht-R. übernimmt ein *Höhenmeß-R.* die Höhenmessung. Seine Antenne bündelt in vertikaler Richtung bes. scharf, wird auf das Azimut des vom Rundsicht-R. erfaßten Objekts eingestellt und dann zur Bestimmung des Höhenwinkels auf- und abgeschwenkt. Zur gleichzeitigen Bestimmung von Schrägentfernung, Azimut und Höhenwinkel gibt es R.anlagen, deren 2 Antennen so angeordnet sind, daß sie gegeneinander geneigte Richtungsdiagramme erzeugen. Jedes Objekt wird nacheinander von beiden Diagrammen erfaßt; der zeitliche Unterschied ist ein Maß für die Flughöhe (Abb. *4*). Echoimpulse von festen, reflektierenden Objekten, wie Gebäude und Höhenzüge, in der Nähe von in der Luftfahrt verwendeten R. können die Echozeichen beweglicher Objekte überdecken. Zur Unterscheidung (*Festzielunterdrückung*, auch *MTI* genannt [von engl. *M*oving *T*arget *I*ndication, Anzeige beweglicher Ziele]) nutzt man den ↑ Doppler-

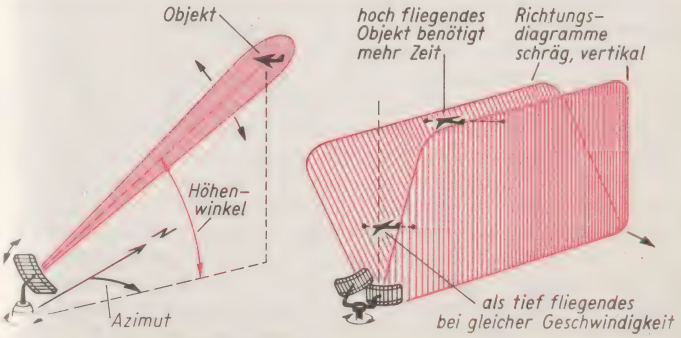
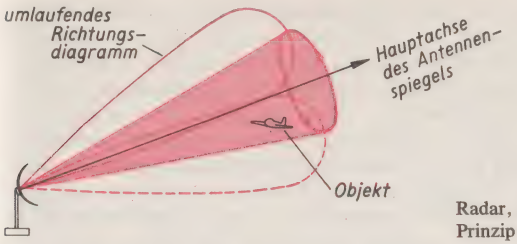


Abb. *4*: Radar zur ausschließlichen Höhenbestimmung (Höhenfinder, *links*) und zur gleichzeitigen Messung von Höhe, Azimut und Schrägentfernung (*rechts*)

Effekt. Er tritt nur bei gegenüber dem R. bewegten Objekten auf und drückt sich in Phasen- und Amplitudenänderungen ihrer Echoimpulse aus. Eine Verzögerungsschaltung im Gerät vergleicht aufeinanderfolgende Impulse. Stammen sie von festen Objekten, so unterscheiden sie sich nicht und heben sich auf. Die Echoimpulse bewegter Objekte hingegen kompensieren sich nicht und werden daher angezeigt. Zum Erleichtern der Auswertung des Schirmbilds lassen sich wichtige Punkte (z. B. Luftfahrthindernisse), Linien (z. B. einzuhaltende Kurse) u. a. elektronisch durch entspr. Ablenkspannung bzw. Impulse einblenden.
Landungen unter schlechten Sichtbedingungen werden durch das *Präzisions-Anflug-R.* (*PAR*) unterstützt. Seine beiden Antennen suchen jeweils einen begrenzten Winkelsektor in horizontaler und vertikaler Ebene ab. Höhenwinkel, Azimut und Entfernung landender Flugzeuge werden fortlaufend auf einem in der Mitte geteilten Bildschirm (oder auf 2 Bildschirmen) mit dem einzuhaltenden Gleitweg verglichen und notwendige Korrekturen dem Pilot über Funk zugesprochen. Bewegungen von Flugzeugen und auch der Wartungsfahrzeuge auf dem Rollfeld überwacht man mit dem *Rollfeld-R.*, das im mm-Wellenbereich arbeitet und nur wenige Kilometer Reichweite hat.
Das *Bord-R.* in Zivilflugzeugen ist vorwiegend zum Vorauserkennen von Schlechtwettergebieten, aber auch als Kollisionsschutzgerät gedacht. Seine Suchimpulse tasten den Raum vor dem oder um das Flugzeug ab. Häufig ist die Anlage so eingerichtet, daß nach Schwenken des Antennendiagramms die Suchimpulse auch den Boden unter dem Flugzeug abtasten können; kräftig reflektierende Objekte, wie Brücken, Gewässer, Küsten- und Bahnlinien, zeichnen sich auf dem Bildschirm ab und können als zusätzliche Orientierungshilfe dienen.
Zielverfolgungs-R. zum Erfassen von Einzelzielen, z. B. das *Höhenwind-R.*, mit dem zur Bestimmung von Windrichtung und -geschwindigkeit Ballons mit angehängtem R.reflektor verfolgt werden, vor allem aber militärische R.anlagen zur Erfassung von Flugzielen, haben ein Richtungsdiagramm in Gestalt einer langgestreckten Keule, die dem Objekt nachgeführt werden muß. Winkel und Entfernung werden nicht auf Rundsicht-Bildschirmen, sondern z. B. in einem rechtwinkligen Koordinatensystem angezeigt. Häufig führen die Anlagen eine *selbsttätige Zielverfolgung* durch und geben die Winkel- und Entfernungswerte einer Datenverarbeitungsanlage ein, die den Bahnverlauf zeichnet oder Geschütze bzw. Raketenstartvorrichtungen richtet. Die Zielverfolgung geschieht als *Flimmerpeilung* (Abb. *5*): Der Strahler des R. ist gegenüber dem Brennpunkt des paraboloidförmigen Antennenspiegels etwas versetzt und rotiert um den Brennpunkt. Die Symmetrieachse des Richtungsdiagramms „schielt" daher gegenüber der Hauptachse des Antennenspiegels und beschreibt einen schlanken Kegel. Nur auf der Hauptachse des Antennenspiegels befindliche Objekte ergeben trotz der Strahlerrotation gleichbleibende Echos. Wandert ein Objekt aus der Hauptachse aus, so zeigen die Echoimpulse Intensitätsschwankungen („Flimmern").



Radar, Abb. *5*:
Prinzip der Flimmerpeilung

Aus ihnen wird eine Regelspannung gewonnen, die die Antenne nachführt, bis das Objekt wieder auf der Antennenhauptachse liegt. Eine andere Möglichkeit besteht darin, durch einen mit dem Gerät gekoppelten Rechner aus den Meßwerten fortlaufend die Zielbewegung ermitteln zu lassen und daraus Steuerspannungen für die Antennennachführung abzuleiten.

Das (*Boden-*) *Wetter-R.*, ein je nach Aufgabenstellung und Reichweite auf einer Wellenlänge zwischen 5 mm und 5 cm arbeitendes Rundsicht-R., nutzt die Echoimpulse, die durch Ansammlung von Wassertröpfchen oder Eisteilchen hervorgerufen werden. Regengebiete, Gewitterfronten, Wirbelstürme sind damit auf dem Bildschirm auf eine Entfernung bis zu 500 km zu erkennen.

2. Sekundär-Impuls-R. (vgl. Abb. *1*) wurden zur Unterscheidung verschiedener gleichzeitig erfaßter Objekte (durch eine spezielle Kennung) und zur Gewinnung zusätzlicher Informationen, z. B. über die Flughöhe, entwickelt; sie erfassen aber nur Objekte mit entspr. technischer Ausrüstung. Die Bodenstation strahlt zur Abfrage Gruppen von Doppelimpulsen aus. Sie werden an Bord von einem *Transponder* (vgl. Abb. *1* und DME-System) empfangen und mit Antwortimpulsen erwidert. Diese bestehen aus 2 sog. Rahmenimpulsen, zwischen die weitere Impulse eingeordnet werden (z. B. zur Höhenangabe und zur Identifizierung eines Luftfahrzeugs). Nur diese Antwortimpulse werden, da sie auf einer anderen Frequenz als die Abfrageimpulse gesendet werden, von der Bodenstation registriert. Bei der Bildschirmwiedergabe machen sich weder Festzielechos noch Echos anderer Störer bemerkbar. Wird der gleiche Bildschirm für die Zieldarstellung von Primär- und Sekundär-R. benutzt, so erscheinen Transpondersignale in Gestalt kurzer Bögen und können daher leicht von den Signalen passiver Echos unterschieden werden. Da der Bodenstation nicht nur die schwachen reflektierten Echoimpulse, sondern ebenso die „aktiv" vom Transponder ausgestrahlten Sekundär-Impulse zur Verfügung stehen, sind ihre Reichweite und die Deutlichkeit der Zielanzeige erheblich größer. Die empfangenen Impulsgruppen können Datenverarbeitungsanlagen zur Auswertung eingegeben werden; das Sekundär-Impuls-R., das meist mit einem Primär-Impuls-R. zusammenarbeitet (z. B. gemeinsame Antennenbefestigung und -bewegung) ist daher für die vorgesehene Automatisierung der

Flugsicherung geeignet. Die R.bake *Racon* [Abk. für engl. *R*adar Beac*on*, R.-Leuchtfeuer] reagiert auf Suchimpulse von Schiffs-R. mit Antwortimpulsen im gleichen Frequenzband. Diese sind so codiert, daß sie auf dem Bildschirm des Bord-R. zur Identifizierung des Standorts der Bake eine Gruppe kurzer Striche oder Bögen hervorrufen (Zielzeichen). Die R.bake *Ramark* [Abk. für engl. *R*adar *Mark*er, svw. Kennzeichnung mit R.] strahlt ständig im Frequenzbereich der Schiffs-R.anlagen. Durchläuft die Bordantenne die Richtung zu einem Ramark, so wird auf dem Bildschirm ein leuchtender Strich geschrieben, der die Richtung zur Bake angibt.

3. *CW-R.* [Abk. für engl. *C*ontinuous *W*ave, ununterbrochene Strahlung, deutsch *Dauerstrich-R.*] sind Primär-R. mit ununterbrochen strahlendem Sender, wobei die Sendeleistung häufig nur wenige Watt und darunter beträgt, und dienen zur Entfernungs- oder Geschwindigkeitsmessung. Umschaltung der Antenne von Senden auf Empfang ist nicht möglich, so daß 2 (konstruktiv häufig vereinte) Antennen nötig sind; die direkte Einstrahlung von Sendeenergie auf die Empfangsantenne muß möglichst gering gehalten werden. Für Entfernungsmessungen wird die Senderwelle mit einer niedrigen Frequenz frequenzmoduliert oder eine Rauschmodulation angewendet (vgl. Modulation). Die Empfangsantenne nimmt einen Teil der vom Objekt reflektierten Energie und gleichzeitig das von der Sendeantenne eingestreute Signal auf. Wegen der sich ständig ändernden Sendefrequenz tritt zwischen reflektiertem und eingestreutem Signal ein von der Entfernung zum Objekt abhängiger Frequenzunterschied auf, der gemessen und unmittelbar als Entfernung angezeigt wird. Bekannteste Anwendung dieses Prinzips ist der ↑ Funk-Höhenmesser der Luftfahrt. Im *Doppler-R.* für Geschwindigkeitsmessungen wird der ↑ Doppler-Effekt genutzt. Die vom Objekt reflektierte Welle ist gegenüber der Sendefrequenz in Abhängigkeit von der Relativgeschwindigkeit zwischen Sender und Objekt verändert. Im R. werden Empfangsfrequenz und ein Teil der Sendefrequenz gemischt; die erhaltene Differenzfrequenz ist ein Maß für die Relativgeschwindigkeit. Im *Verkehrs-R.* strahlt ein meist mit einem Reflex-↑ Klystron bestückter Sender cm-Wellen in Fahrbahnrichtung. Die Geschwindigkeit der erfaßten Fahrzeuge wird direkt in Kilometern je Stunde angezeigt. Zusätzlich werden Fahrzeuge signalisiert, deren Geschwindigkeit einen vorgeschriebenen Grenzwert überschreiten, oder es wird selbsttätig der Verschluß einer Kamera ausgelöst, die das Fahrzeugkennzeichen festhält. In Aufbau und Wirkungsweise ähneln auch Annäherungszünder für Luftabwehrgeschosse und -raketen dem Doppler-R. Im Augenblick der größten Annäherung (Vorbeiflug) des Geschosses am Ziel ist die Relativgeschwindigkeit Null, d. h., es tritt keine Differenzfrequenz auf, wodurch der Zünder ausgelöst wird. Auch der ↑ Doppler-Navigator beruht auf der Grundlage des CW-R.

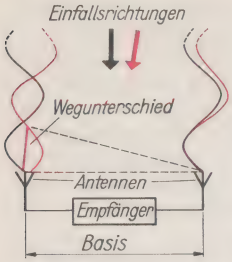
Fernübertragung von R.schirmbildern geschieht nach verschiedenen Verfahren. Für Entfernungen bis zu wenigen Kilometern kann das Videosignal direkt über ein Spezialkabel, über größere Entfernungen mit

den Mitteln der ↑ Trägerfrequenztechnik oder über eine Richtfunkstrecke übertragen werden. Da die für die Übertragung nötige Bandbreite bei den genannten Verfahren verhältnismäßig groß ist, entwickelte man mehrere Methoden der Schmalbandübertragung; sie beruhen gleichfalls auf der Anwendung des Speicherprinzips: Da z. B. bei Rundsicht-R. ein erfaßtes bewegliches Objekt zwischen 2 Antennendurchgängen nur geringe neue Informationen liefert und die Informationen von festen Objekten sich ohnehin nicht ändern, bleibt ein Teil der Betriebszeit des R. ungenutzt. Er kann zur Übertragung weiterer Signale verwendet werden.

Die Entwicklung des R. ist gegenwärtig vor allem durch Versuche und die Erprobung von Methoden gekennzeichnet, die eine Erleichterung der Auswertung von R.informationen und daraus die Ableitung von Steuer-, Korrekturmaßnahmen usw. zur Folge haben. Dazu zählt z. B. die Umsetzung von R.informationen in digitale Größen, die alphanumerisch angezeigt werden (Luftverkehr) oder Kollisionssituationen und Ausweichmöglichkeiten vorausberechnen (See- und Luftfahrt). Charakteristisch für alle R. ist die gewöhnlich sehr kleine Leistung der Empfangssignale, wodurch diese leicht gestört werden. Um dennoch die richtige Information entnehmen zu können, wendet man die Statistik an, d. h. entspr. Wiederholung der Messung, Korrelationsmethoden u. a. Ferner bemüht man sich, für die Signale eine geeignete Impulsform zu wählen, z. B. so, daß sie gegenüber Störungen wenig empfindlich sind.

Geschichtliches. R. wurde in einem Zeitschriftenbeitrag 1900 durch *Nicola Tesla* vorgeschlagen. 1904 erhielt *Christian Hülsmeyer* ein Patent auf ein funktionsfähiges R., das erfolgreich erprobt wurde, dessen Produktion aber auf unüberwindliche Schwierigkeiten stieß (z. B. keine Verstärkungsmöglichkeit). In den zwanziger Jahren wurde das R.prinzip zur Bestimmung der Ionosphärenhöhe erfolgreich angewendet. Die Entwicklung des modernen R. begann, ausschl. für militärische Zwecke, in den dreißiger Jahren; die ersten erfolgreichen Ortungen von Luftzielen (bis > 90 km Entfernung) wurden 1935 durchgeführt. Die Entwicklung während des zweiten Weltkriegs führte zum Rundsicht-R., das durch den Übergang von m- und dm-Wellen zu cm-Wellen und durch die Entwicklung des ↑ Magnetrons ermöglicht wurde. Der Einsatz des R. für friedliche Zwecke begann – entgegen dem erreichten technischen Stand – erst nach 1945.

Radioastronomie: Teilgebiet der Astronomie, in dem man aus dem Weltraum zur Erdoberfläche vordringende elektromagnetische Wellen im Bereich zwischen etwa 1 cm und 20 m (*kosmische Radiostrahlung*) mit Verfahren und Geräten der HF-Technik untersucht. Beobachtungsobjekte der R. sind z. B. die Strahlung der Sonne, der Planeten, des interstellaren Wasserstoffs, der Galaxis und außergalaktischer sog. *Radioquellen.* Beobachtungsinstrument ist vor allem das *Radioteleskop*, bestehend aus einer ↑ Antenne hohen Antennengewinns und Winkelauflösungsvermögens sowie aus einem hochempfindlichen Empfänger mit nachgeschalteten Registriereinrichtungen.



Radioastronomie: Prinzip des Radiointerferometers

Während im m-Wellenbereich z. B. Dipolgruppen und Yagi-Antennen benutzt werden, überwiegen auf hohen Frequenzen paraboloidförmige Spiegel aus Blechen oder Metallgeflecht, in deren Brennpunkt die eigentliche Antenne – oft für verschiedene Frequenzen auswechselbar – angeordnet ist. Die schwenkbaren Spiegel haben teilweise sehr große Durchmesser (Heinrich-Hertz-Institut Berlin-Adlershof 36 m; Jodrell Bank/Großbritannien 76 m; fester, in eine Bodenmulde eingebauter Spiegel Arecibo/Puerto Rico 306 m); an Genauigkeit von Spiegelform, -oberfläche und -nachführung werden sehr hohe Forderungen gestellt. Trotz dieses Aufwands erreicht das (bei gleicher Spiegelgröße mit der Frequenz steigende) Auflösungsvermögen günstigstenfalls Bruchteile eines Winkelgrads. Antennenanordnungen, die als *Radiointerferometer* aufgebaut sind, erreichen ein Auflösungsvermögen von einer Winkelminute und weniger. Werden z. B. 2 Paraboloidspiegel in O-W-Richtung aufgestellt, so kommen nur (als parallel einfallend angenommene) Wellen aus dem Zenit gleichphasig bei den Antennen an. Wandert die Strahlungsquelle bzw. das sich mit der Erde drehende Antennensystem, so treten in Abhängigkeit vom jeweiligen Einfallswinkel Phasenunterschiede auf. Ein in der Mitte der Basis, der Verbindungslinie der Antennen, angeordneter, von beiden gespeister Empfänger registriert eine periodische Folge von Maxima und Minima der HF-Leistung, je nachdem, ob die Wellen sich aufgrund der Wegunterschiede verstärken oder schwächen. Daraus ist die Richtung der Strahlungsquelle zu ermitteln. Radiointerferometer werden in verschiedenen Varianten gebaut, z. B. aus zahlreichen kreuz- oder T-förmig angeordneten großen Einzelantennen, z. T. mit schwenkbaren Armen. Die Basis hat, da ihr Verhältnis zur Wellenlänge für das Auflösungsvermögen entscheidend ist, meist eine erhebliche Längenausdehnung (z. B. Charkow/UdSSR, N-S-Arm 1 800 m, O-W-Arm 900 m; Jodrell Bank – Malvern/Großbritannien 127 km, New Mexico/USA 20,8 km (Schienensystem mit fahrbaren 25m-Parabolantennen). Empfänger ist stets ein ↑ Superhet, dessen Eingangsstufe zur Erzielung möglichst geringen Eigenrausches eine ↑ Wanderfeldröhre, einen parametrischen ↑ Verstärker oder einen ↑ Maser enthält. Trotzdem zwingen die gleichfalls als Rauschen auftretenden Signale zu Kunstgriffen: Man verbindet z. B. den Empfängereingang in schnellem Wechsel

mit der Antenne und einem als Normal dienenden Rauschgenerator, vergleicht die erhaltenen Spannungen elektrisch und gewinnt aus der auftretenden Differenzspannung die Steuerspannung für die Registriereinrichtungen. Ein anderes Verfahren verändert eine im Empfänger gewonnene Vergleichsrauschspannung, bis die von der Antenne gelieferte Spannung gerade kompensiert wird. Die Größe der Vergleichsrauschspannung ist dann ein Maß für die empfangene Signalspannung. Das Radarprinzip wird ebenfalls in der R. eingesetzt; als Sendeantenne dienen häufig die Antennenanlagen von Radioteleskopen. Die von Planeten empfangenen Radarechos führten u. a. zu einer Berichtigung der Astronomischen Einheit und gaben Aufschluß über Oberflächenbeschaffenheit, Temperatur, Magnetfeld, Atmosphäre und Rotationsgeschwindigkeit; die Radarbeobachtung ionisierter Meteoritenschweife ermöglicht eine ständige Kontrolle und Registrierung des Meteoriteneinfalls.

Radiohorizont: Hilfsbegriff zur Angabe der tatsächlichen Reichweite von Sendern im Höchstfrequenzbereich. Die unter der Annahme geradliniger Ausbreitung geometrisch *errechenbare Reichweite* des Senders („optischer" Horizont) wird überschritten, da die Wellen in der Troposphäre normalerweise in Erdbodenrichtung gebeugt werden. Man errechnet daher den R. unter der Annahme eines um ein Drittel größeren Erdradius. Als Näherungsausdruck für die *tatsächliche Reichweite R* in km folgt daraus $R = 4{,}1(\sqrt{h_s} + \sqrt{h_e})$, wobei h_s und h_e die Höhe der Sende- bzw. Empfangsantenne in Metern darstellen.

Radiointerferometer ↑ Radioastronomie.

Radiokompaß, *Funkkompaß*: selbsttätig arbeitendes, in der Luftfahrt verwendetes Peilgerät, das ununterbrochen den Winkel zwischen der Flugzeuglängsachse und der Richtung zu einem von ihm empfangenen Sender als Phasenverschiebung zweier HF-Spannungen anzeigt. Die eine wird an Bord erzeugt und ist auf die Flugzeuglängsachse bezogen, die andere entsteht in einer mit gleicher Frequenz rotierenden Rahmenantenne und hat ein Minimum, wenn deren Ebene senkrecht zu dem angepeilten Sender steht, dagegen ein Maximum, wenn sie genau zum Sender weist. Sind an Bord 2 R. vorhanden, so kann durch Anpeilen von 2 Sendern fortlaufend der eigene Standort ermittelt werden.

Radiosextant: Navigationsgerät, mit dessen Hilfe der Höhenwinkel der Sonne o. a. Himmelskörper aufgrund der von diesen ausgehenden Radiostrahlung gemessen wird. Der R. besteht aus einem empfindlichen Empfänger sowie einer nach Höhe und Seite drehbaren Richtantenne und arbeitet im cm-Wellenbereich. Die Antenne wird auf die Strahlungsquelle gerichtet und bis zum Empfangsmaximum korrigiert; der gesuchte Winkel ergibt sich aus der Antennenstellung. Häufig ist die Antenne mit einer Einrichtung zur automatischen Zielverfolgung (↑ Radar) ausgestattet und folgt der Strahlungsquelle nach einmaliger Grobeinstellung selbsttätig. R.en arbeiten unabhängig von Wetter- und Sichtverhältnissen und werden vor allem in Langstreckenflugzeugen verwendet. Ihre Bedeutung wird bei verstärktem Einsatz von Navigationssatelliten steigen.

Radiosonde: Gerät der Meteorologie zur selbsttätigen Messung und drahtlosen Übertragung aerologischer Daten, wie Temperatur, Luftdruck und -feuchte. Die R. besteht aus einem Meßteil, aus einem im Grenzwellen-, KW- oder UKW-Bereich strahlenden Sender und Spannungsquellen. R. werden an festgelegten Orten und zu bestimmten Zeiten mehrmals täglich mit Hilfe von Ballonen aufgelassen und übertragen Meßwerte bis aus 40 km Höhe und bis 300 km Schrägentfernung. Nach Platzen des Ballons in Gipfelhöhe sinkt die R. an einem Fallschirm zur Erde und kann gegebenenfalls erneut verwendet werden. Der Sender ist einfach gehalten; die Meßwertübertragung geschieht (bei Auf- und Abstieg) z. B. durch verschiedene, den einzelnen Werten zugeordnete Tonfrequenzen oder durch zeitlich gestaffelte Übermittlung der von einer Schalteinrichtung abgetasteten Meßwerte. Zur leichteren Bahnverfolgung der R. (Bestimmung von Windrichtung und -geschwindigkeit) werden Radarreflektoren angehängt. Eine andere R.nart wird in großer Höhe von einem Flugzeug oder einer Rakete ausgestoßen und sinkt, Meßwerte übermittelnd, an einem Fallschirm zu Boden.

Radioteleskop ↑ Radioastronomie.

RAM ↑ Speicher.

Ramark ↑ Radar.

Rangierfunk: beweglicher Funkdienst, meist im m-Wellenbereich arbeitend, zur Erleichterung und Beschleunigung des Rangierbetriebs. Stellwerke und Rangierlokomotiven sind mit fest installierten Sprechfunkanlagen, die Rangierer mit ↑ Handfunksprechgeräten ausgestattet.

Rastermikroskop ↑ Elektronenmikroskop.

Ratiodetektor ↑ Demodulation.

Rauchmelder: fotoelektronisches Gerät zur Anzeige einer Rauchentwicklung in Lagerräumen, Laderäumen von Schiffen u. ä. Seine Wirkungsweise beruht auf der Widerstandsänderung eines lichtelektrischen Bauelements, z. B. einer Fotodiode. Ein Lichtstrahl fällt quer durch einen Kanal, durch den zu prüfende Raumluft angesaugt wird, auf die Fotodiode, deren Beleuchtung und damit Widerstand sich bei Rauchtrübung der Luft ändern. Die der Widerstandsänderung proportionale Spannungs- bzw. Stromänderung steuert ein elektronisches Alarmgerät, das zugleich den Raum anzeigt, in dem die Rauchentwicklung auftritt. Um R. möglichst empfindlich zu machen, wählt man häufig eine ↑ Brückenschaltung mit 2 gleichen Fotodioden, von denen eine mit der zugehörigen Lichtquelle gegen die Raumluft abgeschlossen ist. Der bei einer Störung des Brückengleichgewichts, d. h. bei Rauchentwicklung, im Diagonalzweig der Brücke fließende Strom steuert das Alarmgerät.

Raumladung: elektrische Ladung eines Raumes (Vakuum, Gas, Halbleiter), in dem freie Ladungsträger (Elektronen, Ionen) verteilt bzw. im Überschuß vorhanden sind. R.en beeinflussen in ihrer Wechselwirkung mit elektrischen Feldern den Kennlinienverlauf von Elektronenröhren (vgl. Diode 1.) und sind entscheidend für die Vorgänge in ↑ Gasentladungsröhren sowie an ↑ *pn*-Übergängen in Halbleitern.

Raumschutzanlage ↑ Alarmanlage.
Raumwelle ↑ Wellenausbreitung.
Rauschen: unregelmäßiges, in Übertragungseinrichtungen, wie Verstärkern und Empfängern, stets auftretendes Störsignal. Die Bez. stammt von dem Geräusch, das dieses Signal z. B. in einem Lautsprecher hervorruft, während es sich auf dem Bildschirm eines Fernsehempfängers als „Schneegestöber" bemerkbar macht. Treten im R. Frequenzen von den niedrigsten bis zu den höchsten gleichmäßig auf, so liegt „weißes" R. vor (analog der Zusammensetzung weißen Lichts). *Widerstands-R.* wird von unregelmäßigen Spannungsschwankungen hervorgerufen, die durch die Wärmebewegung der Elektronen an jedem Widerstand, also auch in jedem Leiterstück, im Verlustwiderstand von Schwingungskreisen u. a., auftreten. Die Größe der Rauschspannung hängt vom Widerstandswert, der Temperatur des Widerstands und der ↑ Bandbreite ab.
Das *Röhren-* und das *Transistor-R.* werden durch Unregelmäßigkeiten der Ladungsträgerbewegung verursacht, und zwar das *Schrot-R.* durch Schwanken der Anzahl der bewegten Ladungsträger um einen mittleren Wert, das *Stromverteilungs-R.* durch Schwankungen der Ladungsträgerverteilung beim Eintritt in einzelne Elektroden (z. B. in Elektronenröhren mit mehreren Gittern). Auch der bei Elektronenröhren durch örtlich begrenzte Emissionsschwankungen der Katode hervorgerufene *Funkeleffekt* trägt zum R. bei. Das *Antennen-R.* setzt sich zusammen aus einem vom Strahlungswiderstand der ↑ Antenne abhängigen Anteil und aus die Antenne von außen erreichendem R., z. B. dem durch die kosmische Radiostrahlung verursachten R. Das R. entscheidet darüber, wie schwach Signale sein dürfen, um klar übertragen oder deutlich wahrnehmbar empfangen werden zu können. Insbes. in Empfängern spielt das R. der Eingangsstufe eine wichtige Rolle, da es von den nachfolgenden Stufen weiterverstärkt wird. Daher wurden verschiedene Verfahren entwickelt, das R. der Eingangsstufe niedrig zu halten, z. B. Einsatz sog. rauscharmer Röhren und Transistoren, bei sehr niedriger Temperatur betriebener parametrischer ↑ Verstärker oder ↑ Maser.
Zur Kennzeichnung des R. im Vergleich zum Nutzsignal dient der *Rauschabstand*, d. h. das meist in ↑ Dezibel angegebene Verhältnis der Signal- zur Rauschleistung, oder die *Rauschzahl* als Verhältnis der Rauschabstände am Ein- und Ausgang einer Übertragungseinrichtung. Zum Messen des R. werden *Rauschgeneratoren* eingesetzt, die meistens mit Rauschdioden (↑ Diode 1.) bestückt sind und ein Rauschspektrum erzeugen, in dem die je Hertz Bandbreite abgegebene Leistung über einen großen Bereich konstant ist und mit dem zu messenden R. verglichen wird.
Rauschsperre ↑ Superhet.
***RC*-Kopplung** ↑ Verstärker 2.1.
Real-time-Betrieb ↑ Echtzeitbetrieb.
Rechenelement ↑ Analogierechenautomat.
Rechenwerk ↑ Digitalrechenautomat.

Rechteckgenerator: Schaltung zum Erzeugen von ↑ Kippschwingungen mit nahezu rechteckigem zeitlichem Verlauf. Man geht meist von einem Oszillator für sinusförmige Schwingungen oder von einem ↑ Sägezahngenerator aus, dessen Ausgangsspannung durch ↑ Begrenzer und Stufen zur Impulsformung (↑ Impuls) eine annähernde Rechteckform erhält. R.en werden z. B. in der Meßtechnik, für EDVA und Systeme mit Puls-↑ Modulation benötigt.

Recorder: 1. ↑ Funktelegrafie. – **2.** ↑ Magnetbandgerät.

Referenzelement: Reihenschaltung aus einer Z-Diode und in Durchlaßrichtung betriebenen Si-Dioden zur Gewinnung hochkonstanter Bezugsspannungen (vgl. Spannungsstabilisierung). Durch entspr. Auswahl der Z-Diode (positiver Temperaturkoeffizient) und der Si-Dioden (negativer Temperaturkoeffizient bei geringen Strömen und Betrieb in Durchlaßrichtung) ist ein sehr geringer resultierender Temperaturkoeffizient zu erzielen (10^{-4} bis 10^{-5} K^{-1} bei Temperaturänderungen zwischen 0 bis 100 °C). Die Konstanz der Bezugsspannung erreicht damit die chemischer Spannungsquellen.

Reflektor ↑ Antenne.

Regelung, getastete: Verfahren zur automatischen Verstärkungsregelung (↑ Schwundregelung) in Fernsehempfängern. Zur Gewinnung der Regelspannung dient der auf der Senderseite konstant gehaltene Pegel der Synchronisiersignale. Der Schaltungszweig der g. R. wird durch die vom BAS-Signal abgetrennten Synchronisierimpulse gesteuert („getastet") und spricht nur auf diese aus dem Bildsignal ragenden Impulse an (vgl. Abb. bei Fernsehnorm). Die entstehenden Spannungsimpulse, deren Höhe vom Impulspegel abhängt, werden mit Kondensator-Widerstandsgliedern geglättet und als Regelspannung genutzt.

Der Vorteil der g. R. gegenüber anderen Schaltungen zur Gewinnung der Regelspannung besteht darin, daß der Bildinhalt die Regelspannung nicht beeinflußt. Auch während der Übertragung einer Zeile einfallende Störimpulse wirken sich nicht auf die Regelspannung aus, da die g. R. zwischen Synchronisierimpulsen unwirksam ist.

Register: ↑ Speicher geringer Kapazität und kurzer Zugriffszeit in Digitalrechenautomaten zur vorübergehenden Speicherung von Informationen. R. werden z. B. als *Multiplikanden-* und *Multiplikator-R.* für die Durchführung von Operationen durch das Rechenwerk, als *Befehls-R.* zum Speichern eines Befehls für die Dauer seiner Laufzeit, als *Resultat-R.* oder *Akkumulator* für die Speicherung eines Operationsresultats benötigt. Sie sind häufig aus Flip-Flops (↑ Multivibrator) zusammengesetzt.

Rekombination: 1. ↑ Halbleiter – **2.** ↑ Ion.

Relaisröhre ↑ Kaltkatodenröhre.

Relaisstation ↑ Richtfunkstrecke.

Relativanzeige ↑ Radar.

REPROM ↑ Speicher 2.

Resistron ↑ Bildaufnahmeröhre.

Resonanzfrequenz und **-kreis** ↑ Schwingungskreis.
Restseitenbandmodulation ↑ Fernsehen.
Rettungsbootstation ↑ Notfunkgerät.
Rho-Theta-Verfahren: im UKW- und Höchstfrequenzbereich arbeitende Systeme der Funkortung und -navigation, mit deren Hilfe der Standort eines Luftfahrzeugs durch Messen der Entfernung (ϱ) und des Azimuts (ϑ) eines Funkfeuers bestimmt werden kann. Die Entfernungsmessung erfolgt nach dem Prinzip des ↑ DME-Systems, die Azimutbestimmung mit Hilfe eines ↑ VOR-Drehfunkfeuers.
Beim System *TACAN* [Abk. für engl. *T*actical *A*ir *N*avigation, Flugnavigation für taktische Aufgaben], das zunächst für die US-Luftwaffe entwickelt und später für die Zivilluftfahrt empfohlen wurde, geschieht die Entfernungsmessung ähnlich wie beim DME-System. Die Azimutbestimmung ist durch eine spezielle Form des Richtungsdiagramms und der Antennenspeisung des Drehfunkfeuers erheblich verfeinert. Eine allg. Einführung erfolgte aber, u. a. wegen der zahlreichen bereits vorhandenen VOR-Drehfunkfeuer, nicht. Man kombinierte vielmehr im System *VORTAC* (zusammengezogen aus VOR und TACAN) den Entfernungsmeßteil des TACAN-Systems mit dem VOR-Drehfunkfeuer; diese Kombination ist weit verbreitet. Eine Weiterentwicklung stellt das System *VORDAC* [Abk. für *V*ery High Frequency *O*mnidirectional *R*ange *D*istance Measuring Equipment for *A*rea *C*overing, UKW-Flächenortung durch Winkel- und Entfernungsbestimmung aus allen Richtungen] dar. Es arbeitet mit Doppler-VOR-Drehfunkfeuern und TACAN-Entfernungsmessung und wird, mit Anlagen zur Datenübertragung und -verarbeitung gekoppelt, zur Flugsicherung und Kurssteuerung benutzt.
Richtcharakteristik: 1. ↑ Antenne. – **2.** ↑ Mikrofon. – **3.** ↑ Stereofonie.
Richtdiagramm ↑ Antenne.
Richtfunkstrecke: drahtlose Punkt-zu-Punkt-Verbindung meist im dm- oder cm-Wellenbereich zur gleichzeitigen Übertragung zahlreicher Nachrichtenkanäle (Fernschreiben, Datenfernübertragung, Telefonie, Hörfunk- und Fernsehprogramme u. a.) mit Hilfe straff gebündelter Funkstrahlen, die 2 Endstellen direkt, meist jedoch über eine Kette von Relaisstationen verbinden. Streckenführung einer R. und die Anzahl der Relaisstationen werden vor allem durch die Ausbreitungseigenschaften der benutzten Frequenzbänder bestimmt. Dabei muß die Antenne der n-ten Station einer R. sich für die $(n-1)$te und $(n+1)$te über dem Radiohorizont befinden (Antennen auf Erhebungen, Türmen). Weiterhin muß zwischen Sende- und Empfangsantenne ein Raum in Form eines langgestreckten Ellipsoids frei bleiben, um Empfangsbeeinträchtigungen durch Interferenz zwischen direkt laufenden und an Hindernissen der Erdoberfläche reflektierten Wellen zu vermeiden. In den Brennpunkten des Ellipsoids stehen Sende- und Empfangsantenne und dessen kleine Achse hängt von der Entfernung Sender–Empfänger und der Wellenlänge ab. Die Länge eines *Funkfeldes*, d. h. die Distanz zwischen 2 aufeinan-

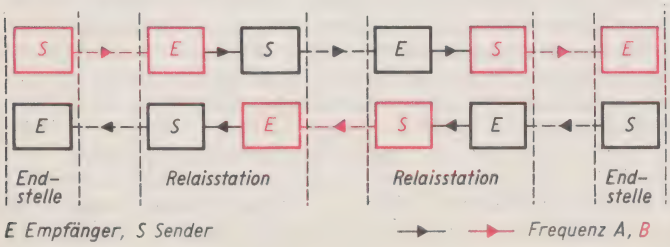
derfolgenden Stationen, liegt im Mittel bei 50 bis 60 km, u. U. unter Zwischenschaltung von ↑ Umlenkspiegeln.

Die für R. benutzten Frequenzen werden nach unten durch die von der geforderten Bündelung abhängigen, mit der Wellenlänge zunehmenden Antennenabmessungen (mit ihren Auswirkungen auf Masse, Winddruck und Kosten), nach oben durch die Dämpfung insbes. durch Nebel und Regen begrenzt. Da auch das kosmische und irdische Rauschen sowie Industriestörungen bei der Frequenzwahl berücksichtigt werden müssen, arbeiten R. im Frequenzbereich zwischen etwa 1 und 11 GHz. Frequenzen um 2 GHz werden für die Übertragung einer mittelgroßen Anzahl von Kanälen und Frequenzen um 4 bis 6 GHz für die Übertragung einer sehr großen Anzahl von z. B. 300 bis 1800 Fernsprechkanälen angewendet. Das vom Sender ausgestrahlte Frequenzband erreicht eine Breite von mehreren 10 MHz.

Die *Endstellen* der normalerweise in beiden Richtungen betriebenen R. bestehen, von Überwachungs-, Kontroll- und Überleitungseinrichtungen (z. B. zum drahtgebundenen Fernmeldenetz) abgesehen, aus 1 Sender und 1 Empfänger, *Relaisstationen* aus 2 Sendern und 2 Empfängern mit den zugehörigen Antennen. Parabol- und Hornparabolantennen werden bevorzugt, Antennengewinne von $> 10^4$ sind nicht selten. Die Sendeleistung braucht daher nicht größer als einige Watt zu sein. Häufig werden 1 Sender und 1 Empfänger über eine ↑ Antennenweiche an einer Antenne betrieben.

Dem *Sender* der Endstelle werden zur Modulation die nach den Verfahren der ↑ Trägerfrequenztechnik aufbereiteten Signale bzw. wird das zu übertragende Fernseh- oder Hörfunkprogramm zugeleitet. Bei der Übertragung zahlreicher Kanäle sowie für Hörfunk- und Fernsehzubringer-R. ist Frequenzmodulation (FM), bei geringer Kanalzahl Pulsphasenmodulation (PPM) üblich; die Pulscodemodulation (PCM) wird gegenwärtig erprobt (vgl. Modulation).

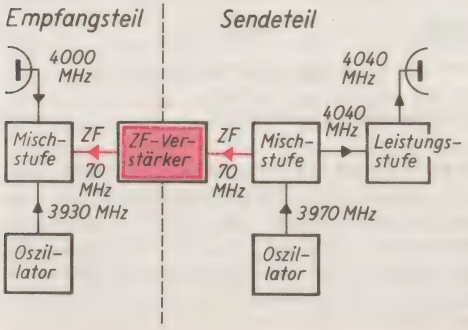
Der *Empfänger* wird, um Frequenzschwankungen auf der Sender- oder Empfängerseite aufzufangen, mit einer Einrichtung zum Frequenznachlauf ausgestattet, deren Wirkungsweise der automatischen ↑ Scharfabstimmung entspricht.



Richtfunkstrecke, Abb. 1: Einfachste Möglichkeit des Frequenzwechsels

In den Relaisstationen werden, um Rückkopplungen oder Störungen durch Überreichweiten nachfolgender Stationen zu vermeiden, Sende- und Empfangsfrequenz gewechselt (in der Abb. *1* z. B. die Frequenzen *A* und *B*). Für die *Durchschaltung*, d. h. die Weiterleitung der Signale durch die Relaisstationen, gibt es 3 Möglichkeiten: Bei *Basisband-Durchschaltung* werden die Signale bis in den Ausgangsfrequenzbereich (Basisband) demoduliert, in demodulierter Form verstärkt und dann zur Modulation des (Relaisstations-) Senders benutzt. Bei *UHF-Durchschaltung* wird das Höchstfrequenzsignal nicht demoduliert, sondern mit Hilfe einer Mischstufe und eines Oszillators um einen relativ geringen Betrag (z. B. 200 MHz) versetzt, verstärkt und wieder ausgestrahlt. Verbreitet ist vor allem die *Zwischenfrequenz-Durchschaltung* (Abb. *2*). Die Höchstfrequenzsignale werden durch Mischen mit einer örtlich erzeugten Oszillatorfrequenz auf eine Zwischenfrequenz (ZF) umgesetzt und anschließend verstärkt. Durch erneutes Mischen der ZF mit einer 2. Oszillatorfrequenz entsteht wieder eine Höchstfrequenz, die nach nochmaliger Verstärkung ausgestrahlt wird.

In den Höchstfrequenzstufen der Anlagen von R. werden im dm-Wellenbereich ↑ Leitungskreise und Koaxialleitungen, im cm-Wellenbereich Hohlraumresonatoren und Hohlleiter benutzt. Die Baustufen von R. sind meist halbleiterbestückt, lediglich in den Senderendstufen finden ↑ Scheibentrioden und bes. ↑ Wanderfeldröhren Anwendung. Versuche, auch diese durch Transistoren oder ↑ Gunn-Elemente zu ersetzen, verliefen erfolgreich. Da Relaisstationen i. allg. unbemannt arbeiten, ist ständige Fernüberwachung und -kontrolle nötig. Die zugehörigen Meßwerte und Steuerkommandos laufen gleichfalls über die R. zu den Endstellen. Über die R. wird ferner ständig eine *Pilotfrequenz* (vgl. Trägerfrequenztechnik) geleitet, die als Bezugsgröße für die Streckenüberwachung dient. Ein bes. *Dienstkanal* ermöglicht jederzeit Verständigung der bemannten Stationen; Wartungspersonal kann sich von unbemannten Stationen aus in den Dienstkanal einschalten. Selbsttätig anlaufende Notstromaggregate und Ersatzstufen tragen dazu bei, daß die



Richtfunkstrecke, Abb. 2: Zwischenfrequenzdurchschaltung in einer Relaisstation (Frequenzangaben nur als Beispiel)

Abb. 3: Richtfunkstrecken im Fernsehnetz der DDR

Betriebssicherheit einer R. der einer Kabelverbindung nicht nachsteht. R. für die gleichzeitige Übertragung von 1 800 Ferngesprächen bzw. einer entspr. Anzahl anderer Nachrichten (z. B. das den RGW-Standards entspr. Breitband-Einheits-System) sind in vielen Fällen in Betrieb, Systeme mit 2 700 Kanälen haben den Probebetrieb bestanden. Die mit R. überbrückte Entfernung erreicht oft mehrere 10^3 km, wobei bis über 100 Relaisstationen erforderlich sind.

R. sind, insbes. für die Übertragung zahlreicher Nachrichtenkanäle oder sehr breiter Frequenzbänder (z. B. als Fernsehprogramm-Zubringer, Abb. *3*) häufig ökonomischer als gleichwertige Kabelverbindungen und werden außerdem dort bevorzugt, wo Einrichtung, Wartung und Betrieb einer Kabelstrecke mit den zahlreichen Zwischenverstärkern schwierig sind, wie in dünn besiedelten oder schwer zugänglichen Gebieten. Die ersten R. wurden bereits in den dreißiger Jahren dieses Jh. eingerichtet, aber bis zum Ende des zweiten Weltkriegs fast ausschl. militärisch genutzt.

Richtstrahler ↑ Antenne.

Ringmodulator ↑ Modulation.

Röhrenkennwerte ↑ Elektronenröhre.

ROM ↑ Speicher.

RTL ↑ Logiksystem.

RTTY [Abk. für engl. *R*adio *T*ele *Type*]: svw. ↑ Funkfernschreiben.

Rückkopplung: in der Elektronik die teilweise Rückführung des Ausgangssignals (Spannung, Strom) einer verstärkenden Anordnung auf deren Eingang. *Negative R.*, ↑ *Gegenkopplung* genannt, liegt vor, wenn dadurch das Eingangssignal verringert wird, *positive R.*, kurz *R.* oder *Mitkopplung* genannt, wenn das Eingangssignal vergrößert wird. R. wird zur Entdämpfung von Schwingungskreisen angewendet. Ein Teil der im Schwingungskreis vorhandenen und anschließend verstärkten Spannung wird so zum Schwingungskreis zurückgeführt, daß er sich zur dort vorhandenen Spannung addiert und damit den Schwingungskreisverlusten entgegenwirkt. Diese Art der R. wurde in großem Umfang zur Trennschärfeerhöhung und Empfindlichkeitssteigerung von Funkempfängern genutzt. Wichtigste Anwendung der R. ist die Schwingungserzeugung (vgl. Oszillator). Werden durch R. die Schwingungskreisverluste gerade ausgeglichen, so bleiben die Schwingungen ohne zusätzliche äußere Energiezufuhr aufrechterhalten. Dies ist der Fall, wenn die Selbsterregungsbedingung $K \cdot V = 1$ erfüllt ist, worin der *R.sfaktor K* das Verhältnis zwischen rückgekoppelter Spannung und Ausgangsspannung ausdrückt und V die Spannungsverstärkung der verstärkenden Anordnung ist. Für $K \cdot V > 1$ entstehen Schwingungen wachsender Amplitude, bis durch Nichtlinearitäten der verstärkenden Anordnung ein weiteres Ansteigen verhindert wird, wobei sich dann $K \cdot V = 1$ eingestellt hat. Auf diesem Prinzip der *Selbsterregung* beruhen alle Oszillatoren mit R.

Die R. kann über kapazitive (Kondensatoren), induktive (Spulen) oder galvanisch leitende Schaltelemente erfolgen. Häufig tritt *unerwünschte R.* auf, bes. bei hoher Verstärkung, da dann bereits ein kleiner R.sfaktor zur Schwingungsanfachung genügt. Die R. kann in diesen Fällen über die magnetischen Felder von Leitungen und Spulen, über die Elektrodenkapazitäten von Röhren, die Sperrschichtkapazitäten von Halbleitern o. a. erfolgen. *Akustische R.* macht sich als Heulen oder Pfeifen elektroakustischer Anlagen bemerkbar und entsteht, wenn in einer Übertragungsanlage die von Lautsprechern ausgehenden Schallwellen auf die

Mikrofone rückwirken und Schallschwingungen sich so aufschaukeln (vgl. Mikrofonie).

Rückkopplungssperre ↑ Funktelefonie.

Rückwärtswellenröhre, *Carcinotron*: ↑ Laufzeitröhre zur Schwingungserzeugung im cm- und mm-Wellenbereich. Die R. ähnelt in ihrer Wirkungsweise der ↑ Wanderfeldröhre, doch bewegt sich im Unterschied zu dieser ein Teil des auf der Verzögerungsleitung laufenden elektromagnetischen Felds in Gegenrichtung zu den in einem Strahl fokussierten Elektronen. Durch die Wechselwirkung zwischen Feld und Elektronen tritt bei bestimmten, von der Elektronengeschwindigkeit abhängigen Frequenzen Selbsterregung auf; die R. arbeitet als Höchstfrequenzgenerator. Wegen des Zusammenhangs zwischen Frequenz und Elektronengeschwindigkeit ergeben sich einfache Möglichkeiten, einen Oszillator mit R. abzustimmen. Das Verhältnis zwischen niedrigster und höchster Frequenz kann dabei 1 : 2 überschreiten. Als Oszillator für geringe Leistung (< 1 W), für Meßzwecke oder Höchstfrequenzempfänger arbeitet die R. mit einem magnetischen Längsfeld (Carcinotron Typ 0), als Leistungsoszillator (Leistung bis zu einigen 100 W) mit einem magnetischen Querfeld (Carcinotron Typ M).

Rufzeichen: Buchstaben- oder Buchstaben-Zahlenkombination zur Identifizierung der staatlichen Zugehörigkeit und der Art einer Funkstation. Nach internationaler Vereinbarung kennzeichnet im öffentlichen Funkverkehr der 1. Buchstabe (oder die beiden ersten Buchstaben, mitunter auch eine Zahl) die staatliche Zugehörigkeit des Senders, während die übrigen Buchstaben bzw. Zahlen die verschiedenen Stationen unterscheiden. Feste Funkstationen haben ein R. aus 3, Schiffsstationen aus 4 und Stationen an Bord von Luftfahrzeugen aus 5 Buchstaben. Funkamateure benutzen R., die aus dem Landeskenner (Buchstaben oder Zahl), 1 Zahl und 2 oder 3 Buchstaben zusammengesetzt sind, z. B. DM 3 HKI = Amateurstation in der DDR (DM), Bezirk Erfurt (I).

Auswahl von Landeskennern im Amateurfunk

Landeskenner	Staat, Gebiet	Landeskenner	Staat, Gebiet
CM	Republik Kuba	PA	Niederlande
DJ, DL	BRD	PY	Brasilien
DM	DDR	SM	Schweden
F	Frankreich	SP	VR Polen
G	Großbritannien	U	UdSSR
HA, HG	Ungarische VR	UA 1	Fr.-Joseph-Land
HB	Schweiz	UA 3	Moskau, Kalinin
I	Italien	UA 9	Ural
JA	Japan	UM 8	Kirgisische SSR
JT	Mongolische VR	VE	Kanada
K	USA	VK	Australischer Bund
LA	Norwegen	W	USA

Landeskenner	Staat, Gebiet	Landeskenner	Staat, Gebiet
LU	Argentinien	XE	Mexiko
LZ	Bulgarische VR	YO	SR Rumänien
OE	Österreich	ZL	Neuseeland
HO	Finnland	5A	Libyen
OK	ČSSR	7X	Algerien

Ruhestrombetrieb ↑ Arbeitsstrombetrieb.

Rundfunk: verbreitetstes Teilgebiet der drahtlosen Nachrichtentechnik zur Übermittlung von Informationen (*Hör-* und *Fernseh-R.*) an einen großen, mit entspr. Empfängern ausgestatteten Teilnehmerkreis. Dem R. sind durch internationale Abmachungen bestimmte Frequenzbereiche zugewiesen (↑ Frequenzverteilungsplan), die von anderen Sendern nicht benutzt werden dürfen. Welchen Frequenzbereich man einem R.sender zuordnet, hängt, den Gesetzmäßigkeiten der ↑ Wellenausbreitung entspr., von dessen Aufgabenstellung ab.

LW-R. gewährleistet über Entfernungen bis zu mehreren 100 km bei Tage und bei Nacht annähernd gleichbleibenden Empfang. *MW-R.* ist tagsüber auf eine Entfernung von 150 bis 250 km um den Sender begrenzt; die bei Dunkelheit bestehende Möglichkeit, weit größere Entfernungen zu überbrücken, ist wegen der Überfüllung des MW-Bereichs und der damit verbundenen Störungen kaum noch nutzbar. *R. in Tropengebieten* arbeitet außer auf Mittelwellen vorwiegend auf Frequenzen, die den Empfang in Entfernungen bis zu einigen 100 km trotz der in diesen Gebieten heftigen atmosphärischen Störungen sichern. *KW-R.* dient der Überbrückung großer und größter Distanzen. *UKW-R.* ermöglicht durch das angewandte Modulationsverfahren (s. u.), durch die große Kanalbreite und durch die Gesetzmäßigkeiten der Wellenausbreitung störungsfreien Empfang hoher Wiedergabequalität bis zum ↑ Radiohorizont des Senders.

Im Unterschied zu kommerziellen Funkdiensten wird beim R. der technische Aufwand nach Möglichkeit auf die Senderseite gelegt, um R.teilnehmern den Empfang mit einfachen, leicht bedienbaren, wartungsfreien und preiswerten Geräten zu ermöglichen. Daher sind die R.-↑ Sender für höchste Betriebssicherheit und Stabilität konstruiert (wichtige Senderstufen doppelt, umfangreiche Kontroll- und Meßeinrichtungen, um Ausfällen vorzubeugen, Notstromaggregate u. a.). Die geforderte hohe Frequenzkonstanz wird ausschl. durch quarzstabilisierte Steuersender bzw. quarzkontrollierte Vergleichsschaltungen (↑ Sender) erreicht. Die Sendeleistung liegt zwischen einigen 100 W und > 1 MW und wird über angepaßte Antennen mit Rundstrahl- oder Richtcharakteristik (KW-R.) ausgestrahlt.

Für alle R.sendungen mit Ausnahme des UKW-Bereichs wird Amplitudenmodulation (Betriebsart *A 3*) angewendet. Dabei muß wegen der schmalen verfügbaren Frequenzbänder die Kanalbreite der Sender be-

schnitten werden, im MW-Bereich z. B. auf 9 kHz, wodurch nur Tonfrequenzen bis 4 500 Hz für die Übertragung genutzt werden können (vgl. Einseitenbandverfahren). Für UKW-R. wird Frequenzmodulation angewendet. Da wegen der begrenzten Reichweite ultrakurzer Wellen der Frequenzmangel weniger in Erscheinung tritt als in anderen Wellenbereichen, hat man die Breite der Sendekanäle auf vorerst 300 kHz festgelegt, so daß ein Tonfrequenzspektrum bis 15 kHz übertragen werden kann. Aufbau und konstruktive Ausführung von R.empfängern (vgl. Empfänger, Superhet) weisen, je nach aufzunehmenden Wellenbereichen, Anforderungen an Wiedergabequalität, Empfindlichkeit oder Ausgangsleistung, Stromversorgung und Preis zahlreiche Unterschiede auf, doch wird gegenwärtig ausschl. der Superhet benutzt.

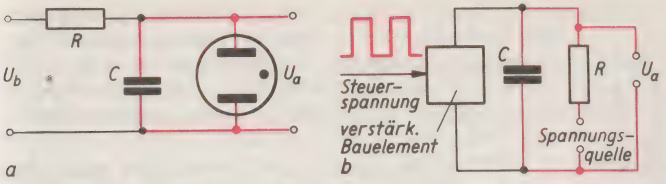
Geschichtliches. Nach Vorversuchen, teilweise schon vor 1910, entstanden die ersten R.sender (RSFSR, USA, Niederlande, Großbritannien, Frankreich) 1920/22. In Deutschland nahm man nach mehrjährigen Versuchen den R.betrieb im Oktober 1923 auf. Die ersten R.empfänger waren Detektorempfänger, denen einfache, batteriegespeiste Röhrenempfänger folgten. Einen bes. raschen Aufschwung nahm der R. mit Einführung netzgespeister Empfänger und des Superhets sowie mit der Leistungssteigerung der Sender (bis 120 kW) in den dreißiger Jahren. Die ersten KW-R.sender begannen gegen Ende der zwanziger Jahre zu arbeiten. Der UKW-Hör- und -Fernseh-R. entwickelte sich, nach Vorversuchen, die durch den zweiten Weltkrieg unterbrochen wurden, in schnellem Tempo seit Beginn der fünfziger Jahre; seit Ende der fünfziger Jahre werden R.sendungen zunehmend stereofon ausgestrahlt.

Rundstrahler ↑ Antenne.

S

Sägezahngenerator: Schaltung zur Gewinnung von Sägezahnschwingungen (d. h. sägezahnförmig verlaufender ↑ Kippschwingungen), die den Kippvorgang selbsttätig wiederholt (*selbstkippender S.*) oder durch eine äußere Spannung (z. B. sinusförmige Wechselspannung oder Puls) gesteuert wird (*fremdgesteuerter S.*). Der Sägezahnverlauf entsteht meist durch Wechsel von langsamem Laden und schnellem Entladen eines Kondensators.

In Abb. *a* wird der Kondensator C von einer Gleichspannungsquelle der Spannung U_b über den Widerstand R geladen. Sobald die Spannung an C die Zündspannung der Glimmlampe erreicht hat, zündet diese und C entlädt sich über den jetzt geringen Innenwiderstand der Glimmlampe. Die Entladung setzt wieder aus, wenn die Spannung an C die Brennspannung der Glimmlampe unterschreitet. Daraufhin wiederholt sich der Vorgang (sog. *Blinkschaltung*). Die Ausgangsspannung U_a hat Sä-



Selbstkippender (a) und fremdgesteuerter Sägezahngenerator (*b*)

gezahnverlauf; ihre Frequenz wird durch die ↑ Zeitkonstante *R-C* bestimmt und von Schwankungen der Betriebsspannung beeinflußt. Für große Leistung tritt an die Stelle der Glimmlampe ein Thyratron bzw. Thyristor, in dessen Ausgangskreis *R* und *C* liegen.

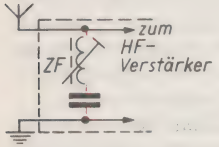
Glimmlampen u. a. Gasentladungsröhren sind nur für NF brauchbar. Für höhere Frequenzen werden Halbleiterbauelemente oder Elektronenröhren als elektronische Schalter eingesetzt, die den Lade- und Entladevorgang des Kondensators steuern. So können ↑ Sperrschwinger und astabile ↑ Multivibratoren als S.en verwendet werden, wenn ihnen Kondensator-Widerstand-Glieder zur Sägezahngewinnung nachgeschaltet werden.

Abb. *b* zeigt das Prinzip eines fremdgesteuerten S. Eine Steuerspannung bewirkt die abwechselnde Sperrung und Freigabe des Stromflusses durch ein verstärkendes Bauelement. Während der Sperrzeit wird über den im Ausgangskreis liegenden Widerstand *R* der Kondensator *C* geladen und während der Öffnungszeit schnell über das verstärkende Bauelement entladen.

Satellitenfernsehen: Direktübertragung von Fernsehprogrammen durch spezielle ↑ Nachrichtensatelliten (*Direktempfangssatelliten*) an Heimempfänger mit dem Ziel, in begrenzten Territorien das Programmangebot zu erweitern oder Verteilungsnetze (vgl. Richtfunkstrecke) zu ersetzen. Für den Aufwand auf Sender- und Empfängerseite gelten gleiche Grundsätze wie beim ↑ Rundfunk. Daher sind Synchronsatelliten unumgänglich (keine Antennennachführung beim Empfänger), deren Strahlungs„keulen" auf das zu versorgende Gebiet gerichtet bleiben. Die für S. international vorgesehenen Frequenzbänder liegen zwischen 620 MHz und 86 GHz. Aus technischen und ökonomischen Gründen gilt das Band von 11,7 ··· 12,5 GHz als bes. günstig. Die Sendeleistung hängt von Frequenz und Modulationsart ab, die Stromversorgung übernehmen Sonnenbatterien (bis 90 m^2 Elementfläche nötig). Bes. 2 Übertragungsverfahren werden untersucht: Bei Restseitenbandmodulation (↑ Fernsehen) sind den Empfängern nur ↑ Konverter vorzuschalten, die das SHF-Signal vom Satelliten in den UHF- bzw. VHF-Bereich umsetzen; die Sendeleistung beträgt einige Kilowatt. Bei Frequenzmodulation genügt eine Sendeleistung von einigen 100 W, am Empfangsort ist außer dem Konverter ein Modulationsumsetzer FM/Restseitenbandmodulation nötig. Die Empfangs-Parabolantenne hat bei 12 GHz einen Durchmesser von < 1 m. In ↑ Gemeinschaftsantennenanlagen brauchen Antenne, Konverter und

evtl. Modulationsumsetzer nur einmal vorhanden zu sein. S. ist gegenwärtig Gegenstand wissenschaftlich-technischer Untersuchungen. Neben der Beantwortung technisch-organisatorischer Fragen, wie z. B. hochempfindliche Konverter, „störsichere" Frequenzplanung und -aufteilung, sind Vereinbarungen zu treffen, die politischen Mißbrauch des S. ausschließen.

Saugkreis: Reihen-↑ Schwingungskreis, der Schwingungen seiner Resonanzfrequenz von anderen Schwingungen trennt bzw. „absaugt". So wird häufig ein auf die ZF abgestimmter S. am Eingang von Empfängern angeordnet, um Störungen durch Sender zu verhindern, deren Frequenz mit der ZF übereinstimmt. Die in NF-Verstärkern von Empfängern benutzte 9-kHz-Sperre (↑ Tonselektion) ist ebenfalls ein S. In ↑ Fernsehempfängern wirken die Fallen als S., und die Differenzfrequenzspannung wird häufig mit Hilfe eines S.es abgetrennt.



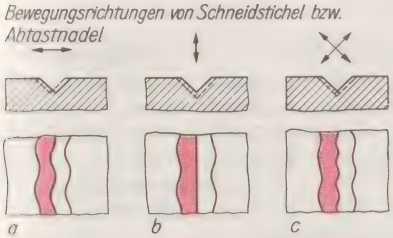
ZF-Saugkreis am Empfängereingang

Scattering-Verbindung ↑ Streuverbindung.

Schallplatte: kreisrunde Thermoplastplatte (früher aus Schellack mit Füllstoffen), auf der Musik oder Sprache unlöschbar für vielfache Wiederholung beiderseitig gespeichert ist. Zur Speicherung dient die den akustischen Schwingungen entspr. veränderte *Schallrille*. Sie verläuft, beginnend mit einer Einlaufrille, vom Rand zum Zentrum der S., endet mit einer kreisförmigen Auslaufrille und wird zur Wiedergabe vom ↑ Tonabnehmer abgetastet, der ihre Änderungen wieder in Tonfrequenzspannungen zurückwandelt, die denen bei der Aufnahme entsprechen. Das Formen der Schallrille geschieht mit Hilfe eines Schneidstichels meist in *Seitenschrift* (Abb. *a*), bei der Frequenz und Amplitude durch seitliche Auslenkungen aus der Spiralbahn ausgedrückt werden, oder in Tiefenschrift (Abb. *b*), bei der Frequenz und Amplitude der Schallschwingungen durch Änderungen der Rillentiefe ausgedrückt werden. Für *Stereo-S.* (↑ Stereofonie) hat sich die *Zweikomponentenschrift*, eine Kombination aus Seiten- und Tiefenschrift, durchgesetzt (Abb. *c*). Jede der – wie auch bei den anderen Verfahren gegenüber der Plattenoberfläche um 45° geneigten – Flanken der Schallrille speichert die Signale eines der beiden Stereokanäle. Bei Quadrofonieaufnahmen werden die entspr. aufbereiteten Signale ebenfalls den Rillenflanken eingeprägt. Die Signale werden bei der Wiedergabe mit einer Abtastnadel im Stereotonabnehmer in voneinander unabhängige Tonfrequenzspannungen umgewandelt.

Die Laufdauer einer S. hängt von der Drehzahl und von der Länge der Schallrille ab. *Normalrillen-S.* haben eine Drehzahl von 78 min^{-1} und einen Rillenabstand (von Mitte zu Mitte gemessen) von etwa 0,25 mm,

Schmalrillen-S. (*Mikrorillenplatten, Langspielplatten*) eine Drehzahl von 45, $33^1/_3$ oder $16^2/_3$ min^{-1} bei einem Rillenabstand von etwa 0,12 mm. Der Verlängerung der Schallrille dient auch das bei Seitenschrift heute allg. angewendete *Füllschriftverfahren.* Da bei Seitenschrift die größte seitliche Auslenkung von den größten Schallamplituden bestimmt wird, eine gewisse Breite des Stegs zwischen benachbarten Rillen aber nicht unterschritten werden darf, bliebe ein Teil der Plattenfläche ungenutzt. Im Füllschriftverfahren wird der Schneidstichel bei der S.naufnahme automatisch so geführt, daß stets nur ein Steg von Mindestbreite stehenbleibt, d. h., die Schallrillen rücken an Stellen geringer Amplitude dichter zusammen als an solchen hoher Amplitude. Der Laufzeitverlängerung kommt auch entgegen, daß man bei der S.naufnahme nicht mit konstanter Schnelle, d. h. konstanter Geschwindigkeit der seitlichen Auslenkungen des Stichels, arbeitet. Da die Auslenkung der Schnelle direkt und der



Seitenschrift (a), Tiefenschrift (*b*) und Zweikomponentenschrift (*c*) auf Schallplatten

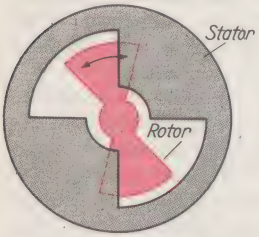
aufzuzeichnenden Frequenz umgekehrt proportional ist, würde sich bei niedrigen Frequenzen eine sehr große Auslenkung ergeben. Daher hält man bei tiefen Frequenzen die Auslenkung unverändert und verringert statt dessen die Schnelle. Umgekehrt wird bei den höchsten Frequenzen des übertragenen Frequenzbands die Schnelle gesteigert, um die bei hohen Frequenzen geringen Auslenkungen zu vergrößern. Durch Kombination der genannten Möglichkeiten konnte z. B. die Laufzeit einer 30-cm-S. von 5 auf 27 min je Plattenseite verlängert werden.

Bei der S.naufnahme wird heute stets von der auf Magnetband festgehaltenen Darbietung ausgegangen. Mit der Ausgangsleistung des dem Magnetbandgerät nachgeschalteten Schneidverstärkers wird der S.nschreiber gesteuert. Er gräbt („schneidet") mit einem Diamant- oder Saphirstichel die Schallrille in eine Wachsplatte oder in eine mit einer Lackschicht bedeckte Plastfolie. Von ihr wird galvanisch – durch Verkupfern einer sehr dünn aufgetragenen Silberschicht – ein Negativ, „Vater" genannt, gewonnen, von diesem wiederum ein weiteres (haltbareres) Positiv, die „Mutter". Von ihr stammen die Preßmatrizen („Söhne") ab. Sie werden ebenfalls galvanisch erhalten, zur Erhöhung ihrer Haltbarkeit mit einer Chromschicht geschützt und dienen als Preßwerkzeuge für die halb- oder vollautomatisch arbeitenden S.npressen.

Schallspeicherung, *Schallaufzeichnung*: dauerhafte, bei einigen Verfahren auch wieder löschbare, Fixierung von Schallereignissen (z. B. Musik, Sprache), meist zur wiederholten Wiedergabe oder Vervielfältigung. Die *elektromechanische S.* wird durch die Schallplattentechnik realisiert (↑ Schallplatte). *Fotoelektrische S.* ist beim Lichttonfilmverfahren üblich. Hierbei werden Tonfrequenzschwingungen in Intensitätsschwankungen einer Lichtquelle umgesetzt, die einen Film belichtet. Die Rückwandlung geschieht mittels einer konstant leuchtenden Lichtquelle und eines lichtelektrischen Bauelements, z. B. einer Fotozelle, die das vom vorbeigeführten Filmstreifen modulierte Licht der Lichtquelle in Spannungsschwankungen zur Steuerung eines Tonfrequenzverstärkers umsetzt. Die durch elektromechanische und fotoelektrische S. fixierten Schallereignisse sind nicht löschbar. Das Trägermaterial kann nur einmal zur S. verwendet werden.
Die *magnetische S.* beruht auf der Magnettontechnik (↑ Magnetbandgerät).
Schallwand ↑ Lautsprecher.
Schaltkreis: Bez. für ↑ integrierte Schaltungen, die in elektronischen Geräten Teilfunktionen (z. B. verstärken, zählen) ausüben oder durch deren Verknüpfen elektronische Geräte aufgebaut werden können. Da eine solche Verknüpfung von Teilfunktionen aufeinander abgestimmte elektrische und mechanisch-konstruktive Parameter voraussetzt, werden vor allem S.serien produziert, die diesen Bedingungen genügen und so angelegt sind, daß relativ wenige unterschiedliche S. alle erforderlichen und erwünschten Kombinationen ermöglichen.
Eine Unterscheidung der S. ist üblich nach 1. Art der zu verarbeitenden Signale, 2. der Technologie, 3. den vorwiegend verwendeten integrierten Bauelementen und den schaltungstechnischen Konsequenzen daraus.
1. *Digitale S.* für die Verarbeitung digitaler, bes. binärer Signale sind gegenwärtig am meisten verbreitet (z. B. Rechentechnik, BMSR-Technik, Meßtechnik). Sie werden in hohen Stückzahlen bei relativ wenigen unterschiedlichen Typen produziert. *Analoge S.* zur Verarbeitung analoger Signale (z. B. bei Verstärkung, Schwingungserzeugung, Modulation und Demodulation) müssen i. allg. höheren Anforderungen hinsichtlich Stabilität der elektrischen Parameter, der Toleranzen und des Wertevorrats der Bauelemente genügen als digitale S. Bei größerer Typenvielfalt werden geringere Stückzahlen benötigt. Gegenwärtig nimmt die Anwendung analoger S. im Bereich der Nachrichtenelektronik zu (z. B. als integrierte ZF-Verstärker, FM- und AM-Demodulatoren, NF-Verstärker, Regelschaltungen).
2. Nach der Technologie werden *Festkörper-S.* (↑ Halbleiterblocktechnik), *Film-S.* (↑ Dünnschicht- und Dickschichttechnik) und *Hybrid-S.* (↑ Hybridtechnik) unterschieden.
3. Es sind entspr. Bez. wie bei ↑ Logiksystemen in Gebrauch, also z. B. *RTL-* und *TTL-S.* Auf Funktion und Schaltungsprinzipien der unipolaren Transistoren beruht die *MIS-Technik* [Abk. von engl. *M*etal *I*nsulated

Semiconductor] mit der Schichtenfolge Halbleiter-Isolator-Metall. Ihre verbreitetsten S., die *MOS-S.*, gehen vom *MOSFET* (vgl. Transistor 2.2.) aus und gewinnen rasch an Bedeutung. Sie ermöglichen neben Nutzung der günstigen elektrischen Parameter der FET höhere Packungsdichte und einfachere Technologie (weniger Fertigungsschritte, da z. B. keine Isolierwannen benötigt werden) als S. mit bipolaren Transistoren.
In der *CMOS-Technik* (vgl. Halbleiterblocktechnik) werden integrierte Bauelemente verwendet, die aus der Reihenschaltung eines *p*- und eines *n*-Kanal-MOSFET (↑ Transistor 2.) bestehen und z. B. in ↑ Speichern und für den Aufbau ↑ logischer Grundschaltungen benutzt werden.
Schalt(ungs)algebra: Anwendung der ↑ Booleschen Algebra auf elektrische Schaltungen, die durch 2 Zustände („Aus" – „Ein", stromlos – stromführend, „L" – „H") gekennzeichnet sind. Die S. führt komplizierte Schaltanordnungen, -abhängigkeiten und -verknüpfungen auf relativ wenige ↑ logische Grundschaltungen zurück, untersucht mit Hilfe spezifischer Rechenregeln, wie die entspr. Schaltanordnungen zu verwirklichen sind und wie sich umgekehrt logische Zusammenhänge durch Verknüpfen logischer Grundschaltungen ausdrücken lassen.
Scharfabstimmung, automatische, Abk. *AFC*, für engl. Automatic frequency control]: meist abschaltbare Schaltung zum selbsttätigen Ausgleich geringer Frequenzabweichungen beim Funkempfang, die durch ungenaue Abstimmung oder Frequenzdrift der frequenzbestimmenden Bauelemente hervorgerufen werden. Aus der HF-Spannung am Ausgang des ZF-Verstärkers wird im Demodulator oder in einem bes. ↑ Diskriminator eine Gleichspannung abgeleitet, deren Größe und Richtung von der Fehlabstimmung abhängen. Diese Spannung steuert eine Kapazitätsdiode im Oszillatorschwingungskreis so, daß die Frequenzabweichungen verringert werden. Der gleiche Effekt ist auch durch spezielle Röhren- oder Transistorschaltungen zu erreichen. Die a. S. wird im UKW-Bereich von Rundfunkempfängern, zusammen mit Verfahren zur automatischen ↑ Abstimmung, im kommerziellen Funkdienst, z. B. bei Einseitenbandverfahren, angewendet.
Scheibentriode: Elektronenröhre für den Höchstfrequenzbereich (insbes. für die Verstärkung und Schwingungserzeugung auf dm- und cm-Wellen) mit scheibenförmigen Elektroden. Um die Elektronenlaufzeit niedrig zu halten, stehen sich die ebenen Elektroden in möglichst geringem Abstand gegenüber (Katoden-Gitter-Abstand z. B. nur einige Mikrometer); die Anode schließt den Röhrenkolben ab und wird oft mit einem Kühlkörper zur Wärmeabführung versehen. Der Röhrenkolben ist aus Glas- oder Keramikzylindern und Metallringen zusammengesetzt. Letztere dienen gleichzeitig als Elektrodenanschlüsse und erleichtern den Einbau der S. in ↑ Leitungskreise und ↑ Topfkreise. S. sind bis herab zu Wellenlängen um 3 cm (10 GHz) einsetzbar; bei Schwingungserzeugung werden einige 10 W, im ↑ Impulsbetrieb mehrere Kilowatt HF-Leistung erreicht.
Schiffsfunk ↑ Seefunkverkehr.
Schirmgitterröhre ↑ Elektronenröhre.

Schleifendipol ↑ Antenne.
Schlitzmaskenröhre ↑ Bildröhre 2.
Schlitzstrahler ↑ Antenne.
Schmetterlingskreis: UHF-Schwingungskreis, dessen Induktivität und Kapazität konstruktiv zusammengefaßt sind. Die „Spule" ist hier ein flachzylindrischer Hohlkörper mit schmetterlingsflügelförmigen Ausschnitten. Er bildet ferner den einen Belag eines veränderbaren Kondensators, den anderen ein innerhalb des Zylinders drehbarer, ebenfalls schmetterlingsflügelähnlicher, scheibenförmiger Rotor. Durch die von der Rotorstellung abhängige Kapazität sowie dadurch, daß je nach Stellung des Rotors durch in ihm hervorgerufene Wirbelströme ein Teil der Induktivität unwirksam wird, kann die Resonanzfrequenz des S.es in weiten Grenzen (Frequenzverhältnis bis 1 : 10) verändert werden. Seine Güte (↑ Schwingungskreis) erreicht Werte bis 10^3.



Schmetterlingskreis

Schroteffekt: svw. Schrotrauschen, ↑ Rauschen.
Schwallötung: Lötverfahren der Massenfertigung, dadurch gekennzeichnet, daß Leiterplatten kontinuierlich über ein Lötbad geführt werden, in dem eine quer zur Bewegungsrichtung rotierende Welle einen Lötmittelschwall erzeugt. Die Leiterplatte wird mit vorbereiteten Lötstellen mit dem Schwall in Berührung gebracht, wobei die Lötungen erfolgen.
Schwarzpegel und **-schulter** ↑ Fernsehnorm.
Schwarzwertsteuerung ↑ Videoverstärker.
Schwebezonenverfahren ↑ Halbleitertechnologie.
Schwebung: periodische Ab- und Zunahme der Amplitude der resultierenden Schwingung bei Überlagerung (↑ Modulation) von 2 Schwingungen relativ geringen Frequenzunterschieds. Die Anzahl der in der Sekunde auftretenden Amplitudenmaxima oder -minima bestimmt die *S.sfrequenz*, die gleich der Differenz der Frequenzen f_1 und f_2 der Ausgangsschwingungen ist. Durchlaufen einander überlagernde Wechselspannungen oder -ströme geringen Frequenzunterschieds ein Bauelement oder eine Schaltung mit nichtlinearer Kennlinie, z. B. einen Demodulator (↑ Demodulation), so tritt am Ausgang eine Wechselspannung bzw. ein -strom der S.sfrequenz auf.
Die S.sfrequenz liegt bei entspr. Frequenzunterschied im Tonfrequenzbereich. Dies wird z. B. beim Empfang von Telegrafiesignalen der Be-

triebsart *A 1* (vgl. Telegrafieüberlagerer), für Frequenzmessungen durch Frequenzvergleich und in elektronischen ↑ Musikinstrumenten ausgenutzt. Auch die beim Empfang von Sendern auf dicht benachbarten Frequenzen im Lautsprecher hörbaren Pfeiftöne sind eine Folge von S.en.

Schwell(en)wertschalter: Schalteinrichtung, die erst bei einem vorgegebenen Wert der Eingangsgröße mit einer Änderung des Ausgangssignals reagiert (vgl. Dämmerungsschalter). Als elektronische S. sind ↑ Trigger verbreitet.

Schwingspule ↑ Lautsprecher.

Schwingung: zeitliche periodische Änderung einer physikalischen Größe, bei der *elektrischen S.* (vgl. Schwingungskreis) z. B. der elektrischen und magnetischen Feldstärke. Eine S. heißt *harmonisch*, wenn sich der zeitliche Verlauf der physikalischen Größe x durch eine Sinusfunktion darstellen läßt; charakteristische Größen einer solchen S. sind:

- *S.sdauer* (*Periode*) T, d. h. die Zeitspanne für einen vollständigen S.ablauf,
- *Frequenz* f, mit T durch die Beziehung $f = 1/T$ verknüpft,
- Kreisfrequenz $\omega = 2\pi f$,
- *Amplitude* A, d. h. die größte Abweichung der physikalischen Größe x (Auslenkung) vom Ruhewert,
- Nullphasenwinkel (*Phasenkonstante*) φ_0, der den Wert der physikalischen Größe zur Zeit $t = 0$ kennzeichnet.

Für harmonische S.en gilt: $x = A \sin(\omega t + \varphi_0)$. Phasenverschobene S.en haben gleiche Frequenz, aber unterschiedliche Phasenkonstante. *Nichtsinusförmige S.en*, z. B. Sägezahnschwingungen, können rechnerisch auf eine sinusförmige Grund-S. und harmonische Ober-S.en, die ganzzahlige Vielfache der Grund-S. sind, zurückgeführt werden. *Ungedämpfte S.en* haben konstante, *gedämpfte S.en* (vgl. Dämpfung) abnehmende Amplitude.

Schwingungskreis, *Schwingkreis, Resonanzkreis*: Anordnung aus einer Spule und einem Kondensator, in der elektromagnetische Schwingungen erregt werden können. Wird ein mit einer Gleichspannungsquelle aufgeladener Kondensator über eine Spule entladen, so baut sich um diese während des Stromflusses ein magnetisches Feld auf. Dabei wird das elektrische Feld des Kondensators abgebaut. Zwischen der Kondensatorspannung und dem die Spule durchfließenden Entladestrom besteht eine Phasenverschiebung von 90°. Ist der Kondensator entladen, bricht das Magnetfeld zusammen und induziert dabei in der Spule eine Spannung, wodurch der ursprüngliche Stromfluß aufrechterhalten wird. Der Kondensator lädt sich mit umgekehrter Polarität auf. Dieser Vorgang wiederholt sich. Es kommt zu einem periodischen Wechsel zwischen im elektrischen Feld des Kondensators und im Magnetfeld der Spule gespeicherter Energie; im S. fließt Wechselstrom. Seine Frequenz, die *Eigen-* oder *Resonanzfrequenz* f_r, hängt von der Kapazität C des Kondensators und der Induktivität L der Spule ab und kann mit Hilfe der *Thomsonschen Schwingungsgleichung* (nach dem britischen

Physiker *William Thomson*, später *Lord Kelvin of Largs*) errechnet werden: $f_r = 1/2\pi\sqrt{L \cdot C}$.

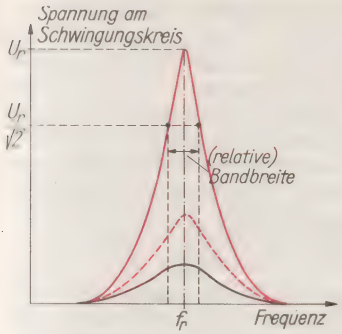
Obwohl dieser Ausdruck streng nur für verlustfreie S. gilt, kann er nahezu allen Berechnungen der technischen Praxis zugrundegelegt werden. In einem verlustfreien S. würden die Schwingungen ungedämpft, d. h. mit gleichbleibender Amplitude, fortdauern. Im realen, stets verlustbehafteten S. verlaufen sie hingegen gedämpft, mit abnehmender Amplitude (vgl. Dämpfung). Technisch bes. wichtige Erscheinungen treten auf, wenn an einem S. eine Wechselspannung U_{HF} liegt, deren Frequenz mit der Eigenfrequenz des S.es übereinstimmt (*Resonanz*) oder dieser nahekommt.

1. Beim *Parallel-S.* liegt die Spannungsquelle an der Parallelschaltung von der Spule und dem Kondensator. An beiden tritt die gleiche Spannung auf, jedoch werden sie von unterschiedlichen, einander entgegengerichteten Teilströmen i_L und i_C durchflossen. Der Gesamtstrom i ergibt sich als Differenz der Teilströme. Die Differenz wird $= 0$, wenn kapazitiver Widerstand des Kondensators und induktiver Widerstand der Spule gleich sind. Verschwindender Gesamtstrom bei vorhandener Spannung bedeutet: Der verlustfreie Parallel-S. setzt einem Strom, dessen Frequenz mit der Eigenfrequenz übereinstimmt, einen unendlich hohen Widerstand entgegen.

2. Beim *Reihen-S.* oder *Serien-Resonanzkreis* liegen Kondensator, Spule und Spannungsquelle in Reihe. Die Spule und der Kondensator werden vom gleichen Strom i durchflossen, jedoch sind die auftretenden Teilspannungen u_L und u_C einander entgegengerichtet; die Gesamtspannung an der Reihenschaltung ist gleich der Differenz der Teilspannungen. Die Differenz wird $= 0$, falls kapazitiver Widerstand des Kondensators und induktiver Widerstand der Spule gleich sind. Das ist der Fall, wenn Frequenz der Wechselspannung und Eigenfrequenz des S.es übereinstimmen. Da Strom bei fehlender Spannung nur in einem widerstandslosen Leitungszweig fließen kann, bedeutet das: Der verlustfreie Reihen-S. stellt einen Kurzschluß für einen Strom dar, dessen Frequenz mit der Eigenfrequenz übereinstimmt.

Die stets vorhandenen Verluste (Kondensator-, Spulen- und Leitungsverluste, Skin-Effekt, Eisenverluste) faßt man für eine bestimmte Frequenz (meist für f_r) in einem Ohmschen Verlustwiderstand R zusammen, der für Berechnungen z. B. mit der Spule in Reihe liegend gedacht wird. Die Verluste haben zur Folge, daß der *Resonanzwiderstand* R_r des S.es, d. h. der Widerstand bei der Eigenfrequenz, von den Werten 0 bzw. ∞ abweicht. Für den Reihen-S. gilt $R_r = R$, für den Parallel-S. (bei geringen Verlusten) $R_r = L/(C \cdot R)$.

Bei Resonanz betragen die Teilspannungen u_L und u_C (beim Reihen-S.) und die Teilströme i_L und i_C (beim Parallel-S.) i. allg. ein Vielfaches der Spannung u bzw. des Stromes i. Das Verhältnis $u_L/u = u_C/u$ bzw. $i_L/i = i_C/i$ heißt *Güte* des S.es und errechnet sich zu ϱ oder $Q = (1/R)\sqrt{L/C}$.



Resonanzkurve (hier für die Spannung) eines Parallelschwingungskreises bei geringer (*vollrot*), mittlerer (*rot gestrichelt*) und starker Dämpfung (*schwarz*)

Der reziproke Wert wird *Dämpfungsfaktor d* genannt. Die Güte erreicht i. allg. Werte von >100 und kann bei Spezial-S.en des UHF-Bereichs $>10^3$ betragen.

Das Verhalten eines S.es wird anschaulich durch seine *Resonanzkurve* (Abb.) dargestellt. Die Resonanzkurve verläuft um so flacher, je höher die Verluste im S. sind. Die Abb. zeigt dies für verschiedene Verlustwiderstände. Die Trennschärfe eines S.es ist um so höher, je spitzer die Resonanzkurve verläuft.

Die Bedeutung der S. folgt aus ihrem frequenzabhängigen Verhalten gegenüber Wechselströmen bzw. -spannungen. So dient der Reihen-S. wegen seines niedrigen Resonanzwiderstands dazu, aus einem Gemisch von Strömen unterschiedlicher Frequenz einen Strom bestimmter Frequenz auszusieben bzw. abzuleiten (vgl. Saugkreis). Werden einem Parallel-S. Ströme unterschiedlicher Frequenz zugeführt, dann ruft wegen des hohen Resonanzwiderstands derjenige Strom die größte Spannung am S. hervor, dessen Frequenz mit der (meist durch Verändern von L oder bzw. und C einstellbaren) Eigenfrequenz des S.es übereinstimmt. Darauf beruht die verbreitete Anwendung des Parallel-S.es als Abstimmkreis (vgl. Abstimmung, Sperrkreis). S. lassen sich für alle technisch benutzten Frequenzen ausführen, jedoch werden mit wachsender Frequenz, z. B. im UHF-Bereich, anstelle von S.en mit konzentrierter Kapazität (Kondensator) und Induktivität (Spule) Spezialformen verwendet, wie der ↑ Schmetterlingskreis, der ↑ Leitungskreis oder der ↑ Hohlraumresonator.

Schwund [engl. *Fading*]: unregelmäßige, längere oder kürzere Schwankungen der Feldstärke eines Senders am Empfangsort, hervorgerufen durch Einflüsse, denen die elektromagnetischen Wellen auf ihrem Übertragungsweg ausgesetzt sind.

Interferenz-S. tritt auf, wenn Wellen eines Senders den Empfänger auf verschieden langen Wegen erreichen und miteinander interferieren. Je nach Laufzeitunterschied und damit Phasenverschiebung steigt oder sinkt die Empfangslautstärke (mitunter bis zur Auslöschung). Interferenz-S.

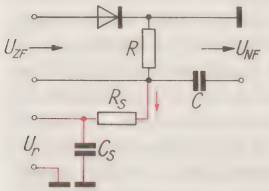
tritt bes. im KW-Bereich auf, in dem die Wellenausbreitung über die – ständigen Änderungen unterworfene – ↑ Ionosphäre erfolgt. Im MW-Bereich macht sich der Interferenz-S. u. a. als *Nah-S.* bemerkbar; er zeigt sich nach Sonnenuntergang durch Interferenz von Boden- und Raumwelle (vgl. Wellenausbreitung) in einer Entfernung von etwa 50 bis 150 km um den Sender. Im Höchstfrequenzbereich kommt S. z. B. durch Interferenz der direkt vom Sender zum Empfänger laufenden mit einer an Hindernissen reflektierten oder durch troposphärische Vorgänge unregelmäßig gebrochenen Welle zustande (Beispiel: „Pumpen" des Fernsehbilds beim Vorbeifliegen eines Flugzeugs, Grenzen zwischen Warm- und Kaltluftschichten).

Weil Interferenz-S. frequenzabhängig ist (Phasenverschiebung!), wird bes. im KW-Bereich oft nur ein Teil des vom Sender übertragenen Frequenzbands betroffen. Dieser *selektive S.* ruft starke Verzerrungen hervor, wenn die Trägerfrequenz so weit geschwächt wird, daß im Empfänger keine einwandfreie ↑ Demodulation mehr möglich ist (*Träger-S.*). Ändert sich durch ionosphärische Vorgänge die Polarisationsrichtung der einfallenden Wellen, dann tritt *Polarisations-S.* auf. *Dämpfungs-S.* hat seine Ursache in unterschiedlich starker Absorption der Wellen in der Atmosphäre bzw. (im Höchstfrequenzbereich) in der Troposphäre.

Bekanntestes Hilfsmittel zur Kompensierung von S. auf der Empfängerseite ist die ↑ Schwundregelung. Im kommerziellen Funkbetrieb wird häufig der ↑ Mehrfachempfang oder das ↑ MUSA-System angewendet. Die Auswirkungen von Träger-S. werden auch durch ↑ Einseitenbandverfahren vermindert. Rundfunksender strahlen oft über s.mindernde Antennen, die in ihrem Abstrahlwinkel so ausgelegt sind, daß der von der Ionosphäre zurückkehrende Strahlungsanteil gering bleibt.

Schwundregelung, *automatische Verstärkungsregelung*, Abk. *AVR*: Schaltung zum selbsttätigen Ausgleich von Signalschwankungen (z. B. Lautstärkeschwankungen) am Ausgang eines Funkempfängers, die durch wechselnde Feldstärke beim Empfang eines Senders oder durch unterschiedliche Feldstärke verschiedener Sender hervorgerufen werden. Aus der jeweiligen, in die ZF-Spannung umgesetzten und verstärkten HF-Spannung am Empfängereingang wird im Demodulator oder in einem bes. Regelspannungsgleichrichter eine Gleichspannung gewonnen und dazu benutzt, durch Verschieben des Arbeitspunkts von Elektronenröhren oder Transistoren die Verstärkung des Empfängers bei sinkender Eingangsspannung zu erhöhen bzw. bei steigender zu vermindern. In der Abb. wird die amplitudenmodulierte ZF-Spannung U_{ZF} durch die Diode gleichgerichtet. Am Widerstand R tritt eine Gleichspannung auf, deren Größe im Modulationsrhythmus und in Abhängigkeit von der Feldstärke am Empfängereingang schwankt. Sie läßt sich in einen die Modulation enthaltenden Wechselspannungsanteil U_{NF}, der über den Kondensator C dem NF-Verstärker zugeleitet wird, und einen Gleichspannungsanteil U_r zerlegen, der als Regelspannung dient. Das Siebglied R_s-C_s trennt U_r ab. Seine ↑ Zeitkonstante wird deshalb so gewählt, daß die niedrigsten

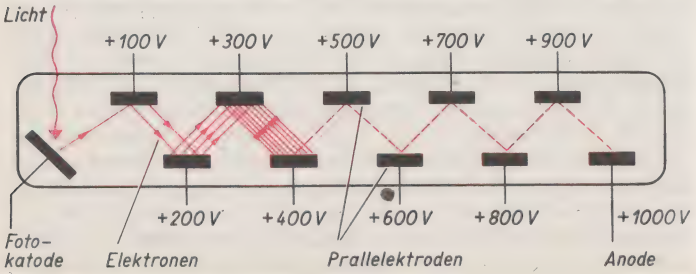
Modulationsfrequenzen keine störenden Regelspannungsschwankungen hervorrufen, die Regelspannung aber schnellen Feldstärkeänderungen folgen kann (Wert der Zeitkonstante für Rundfunkempfänger z. B. $\approx 0{,}1$ s).
Rückwärtsregelung, d. h. in Richtung Empfängereingang, liegt vor, wenn die Regelspannung verstärkende Bauelemente vor dem Demodulator beeinflußt. *Vorwärtsregelung*, d. h. in Richtung Empfängerausgang, bei Beeinflussung von Bauelementen hinter dem Demodulator. Meist wird Rückwärtsregelung angewendet, Vorwärtsregelung i. allg. nur kombiniert mit dieser. Da durch S. die Verstärkung in jedem Falle geringer ist als bei einem ungeregelten Empfänger, ist z. B. bei sehr schwach einfallenden Sendern die volle Verstärkung des Geräts nicht nutzbar. Daher bevorzugt man oft eine *verzögerte S.* Ihre Regelwirkung setzt – etwa durch eine konstante Gegenspannung zur Regelspannung – erst oberhalb eines bestimmten Schwellenwerts der Eingangsspannung ein. Die Regelspannung steuert meist auch die ↑ Abstimmanzeige.
Das Prinzip der S. wird auch an anderer Stelle angewendet, z. B. um die Ausgangsleistung einer elektroakustischen Anlage trotz wechselnder Eingangsspannung annähernd konstant zu halten (wechselnde Entfernung eines Redners vom Mikrofon), oder in Einrichtungen der ↑ Trägerfrequenztechnik.



Gewinnung der Regelspannung zur Schwundregelung

SECAM-System ↑ Fernsehen 2.
SEC-Vidikon ↑ Bildaufnahmeröhre.
Seefunkverkehr, *Schiffsfunk*: beweglicher Funkdienst von Bordfunkstellen mit Küstenfunkstellen (z. B. Rügen Radio in der DDR, Norddeich Radio in der BRD) oder zwischen Bordfunkstellen zum Austausch von Nachrichten und Meldungen, z. B. Notrufe, Wetter-, Schiffahrts-, Warnmeldungen (Seenachrichten), Fangergebnisse, Anweisungen der Reedereien, persönliche Nachrichten von oder für Besatzung und Fahrgäste. Der S. wird in international festgelegten Frequenzbändern abgewickelt, die vom Längstwellen- bis in den UKW-Bereich so verteilt sind, daß jederzeit und auf jede Entfernung eine Nachrichtenverbindung möglich ist. Betriebsarten des S. sind Telegrafie und Telefonie, Funkfernschreiben, Faksimileübertragung (z. B. von Wetterkarten) und Fernübertragung von Daten für EDVA (z. B. in der Seefischerei). Neben Zweiseitenbandverfahren gewinnen zur Verminderung der notwendigen Bandbreite und zur Erhöhung der Übertragungsqualität ↑ Einseitenbandverfahren

zunehmend an Bedeutung. ↑ Selektivrufeinrichtungen für den Anruf im Fernverkehr werden eingeführt.
Schiffssender arbeiten im LW-, Grenzwellen-, MW- und KW-Bereich und erreichen bis 1 kW Leistung. Schiffsempfänger erfassen den Frequenzbereich von 15 kHz bis 28 MHz. Sender und Empfänger müssen, ebenso wie ↑ Notfunkgeräte, international abgesprochenen Mindestbedingungen, z. B. hinsichtlich Frequenzstabilität, Empfindlichkeit, Bandbreite u. a. genügen.
Für geringe Entfernung (Verbindung Schiff/Schiff, Schiff/Hafenbehörde, Schiff/Schlepper bzw. Lotse, Schiff/öffentl. Fernsprechnetz) werden von der Kommandobrücke zu bedienende *UKW-Seefunkgeräte* eingesetzt. Sie arbeiten in Funktelefonie mit Frequenzmodulation (Betriebsart *F 3*) im Bereich zwischen 156 und 174 MHz im Wechsel- oder Gegensprechbetrieb auf festgelegten, wählbaren Kanälen.
Seegangenttrübung ↑ Radar.
Seenotfrequenz ↑ Notzeichen.
Seitenband und **-frequenz** ↑ Modulation.
Seitenschrift ↑ Schallplatte.
Sekundärelektronen ↑ Elektronenemission 3.
Sekundärelektronenvervielfacher, *Fotovervielfacher, Vervielfacher, Multiplier*, Abk. *SEV*: Bauelement auf der Grundlage des äußeren ↑ lichtelektrischen Effekts und der Sekundäremission (↑ Elektronenemission 3.) zum Nachweis und zum Messen sehr geringer Beleuchtungsstärken im sichtbaren, UV- und teilweise IR-Teil des Spektrums. S. enthalten in einem evakuierten Glaskolben eine Fotokatode, bis zu 12 Prallelektroden („*Dynoden*") und eine Anode. Eine zwischen Anode und Katode angelegte positive Beschleunigungsspannung von 1 bis 2 kV steigt von Prallelektrode zu Prallelektrode. Ein bei Strahlungseinfall von der Katode emittiertes Elektron erreicht unter dem Einfluß der Beschleunigungsspannung die 1. Prallelektrode und löst dort mehrere Sekundärelektronen aus, die zur folgenden Prallelektrode beschleunigt werden, dort erneut eine größere Anzahl von Sekundärelektronen freisetzen usw. Die an der letzten Prallelektrode entstehenden Sekundärelektronen werden von der Anode abgesaugt. Die Prallelektroden bestehen i. allg. aus



Sekundärelektronenvervielfacher

Blech, können aber auch netzartig sein; die Sekundärelektronen werden dann durch die Maschen „hindurchgesaugt".
Die erreichbare Stromverstärkung hängt von der Anzahl der Prallelektroden sowie vom Ausbeutefaktor ihres Materials ab (stets > 1) und erreicht Werte $> 10^8$. Wird der Dunkelstrom (vgl. Fotozelle) durch zusätzliche Kühlung der Katode (z. B. mit festem Kohlendioxid) niedrig gehalten, so können noch einzelne die Fotokatode verlassende Elektronen nachgewiesen werden. Durch entspr. Wahl des Katodenmaterials läßt sich die höchste Empfindlichkeit des S. in bestimmte Teile des Spektrums legen.
S. werden vor allem für fotometrische Messungen sowie – in Verbindung mit Szintillations- und Tscherenkow-Zählern – für die Messung schwächster radioaktiver Strahlung in der Physik, Astronomie, Medizin und Technik angewendet, und zwar bis zu einer Frequenz von 100 MHz, Spezialkonstruktionen noch darüber. Sie sind auch Bestandteil mancher ↑ Bildaufnahmeröhren.
Sekundäremission ↑ Elektronenemission 3.
Selbsterregung ↑ Rückkopplung.
Selbstinduktionskoeffizient ↑ Induktivität.
Selbstlenkung: i. e. S. selbsttätige Steuerung und Regelung der Bewegung und i. w. S. oft auch Erfüllung zusätzlicher Aufgaben (z. B. Ein- und Ausschalten von Meßeinrichtungen, Auslösen von Zündern u. a.) an Bord von Land-, Wasser-, Luft- und Raumfahrzeugen durch bordeigene Mittel ohne von außen übertragene Steuerkommandos. Um die nötigen Lenk- und Steuerkommandos an Bord zu gewinnen, werden Ist-Parameter des zu lenkenden Objekts gemessen und mit Soll-Parametern verglichen. Solche Parameter können z. B. geographische Koordinaten (Standort, Entfernung und Start- oder Zielpunkt), eine Bewegungsrichtung, eine einzuhaltende Flugbahn, ein zeitlich vorgeschriebener „Fahrplan" o. a. sein. Die Soll-Parameter sind an Bord gespeichert (wobei oftmals Korrekturen vom Boden aus möglich sind), die Ist-Parameter werden mittels Meßfühlern und -organen ermittelt und meist in elektrische Signale umgewandelt. So wird z. B. die Lage im Raum durch achsenstabile Kreisel festgestellt, die bei Lageänderungen Drehmelder betätigen; Meßfühler, sog. *Sensoren*, bestimmen fotoelektronisch die Richtungen zu Himmelskörpern; Beschleunigungen und daraus durch Integration Geschwindigkeit und Wegstrecke werden z. B. durch induktive oder kapazitive Meßfühler erfaßt. Auch Magnet- und Gravitationsfelder werden zur Bestimmung der Ist-Parameter herangezogen. Aus deren Vergleich mit den Soll-Parametern leitet eine Regeleinrichtung bzw. ein Bordrechner Kommandos für die Lenk- und Steuerorgane ab. Das geschieht über Verstärker, Begrenzer, Umsetzer, logische Schaltungen u. a. Bes. für militärische Anwendungen ist wichtig, daß eine S. schwer willkürlich zu stören ist.
Als *Zielsuchlenkung* bez. man Verfahren der S., bei denen das zu lenkende Objekt durch vom Ziel ausgehende Wirkungen den eigenen und den

Zielstandort ständig zueinander in Beziehung setzt und daraus Steuer- und Lenkkommandos gewinnt. Bei *passiver Zielsuchlenkung* wird eine vom Ziel ausgehende Strahlung (Funkwellen, IR- oder optische Strahlung) zur S. herangezogen. Dieses Verfahren liegt z. B. der Kopplung von ↑ Radiokompaß und automatischer Kurssteuerung für Zielanflüge auf ein Funkfeuer und auch den Annäherungszündern und *Zielsuchköpfen* von Raketenwaffen zugrunde. Bei *aktiver Zielsuchlenkung* wird die zur Zielsuche nötige physikalische Größe im zu lenkenden Objekt selbst gewonnen, meist durch ein vereinfachtes Radargerät, das das Ziel erfaßt und dessen Ergebnisse automatisch in Steuerkommandos umgewandelt werden. Bei *halbaktiver Zielsuchlenkung* wird das Ziel von dritter Stelle (z. B. einer festen Bodenstation) mit Funkwellen angestrahlt, und der Bordempfänger des zu lenkenden Objekts leitet aus der vom Ziel reflektierten Strahlung Steuer- und Lenkkommandos ab. Verfahren der Zielsuchlenkung werden, obwohl sie störbar sind, vor allem im militärischen Bereich sowie in der Raumfahrttechnik angewendet und oftmals mit Verfahren der ↑ Fernlenkung kombiniert.

Selectavision ↑ Fernsehaufzeichnung.

Selectoject ↑ Tonselektion.

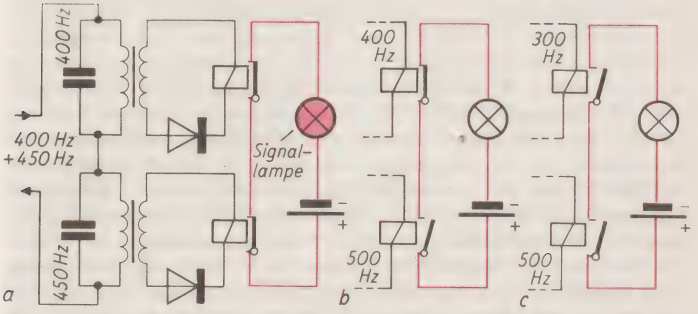
Selektion: von einem Funkempfänger geforderte Eigenschaft, aus empfangenen Signalen die des gewünschten Senders auszusieben, diejenigen anderer Sender aber möglichst zu unterdrücken. Die S. hängt von der *Selektivität* (*Trennschärfe*) des Geräts ab und wird z. B. als Verhältnis zwischen erwünschtem und störendem Signal am Empfängerausgang ausgedrückt. Die mit Meßeinrichtungen unter Prüfbedingungen ermittelte *statische S.* berücksichtigt nur ein störendes Signal, die beim praktischen Betrieb eines Empfängers erforderliche *dynamische S.* dagegen verschiedene Signale. Man unterscheidet z. B. *Nachbarkanal-S.* gegenüber Signalen auf benachbarten Frequenzkanälen, *Gleichkanal-S.* gegenüber störenden Sendern im Kanal der gewünschten Station, *Spiegelfrequenz-S.* gegenüber störenden Sendern auf der ↑ Spiegelfrequenz. Die S. hängt vor allem von der Anzahl und vom verlustarmen Aufbau der Schwingungskreise ab. Sie kann durch zusätzliche Maßnahmen, wie Rückkopplung oder ↑ Filter sehr geringer Bandbreite, erhöht werden.

Selektivrufeinrichtung: Zusatzeinrichtung, mit deren Hilfe die Leitfunkstelle eines Netzes auf derselben Frequenz arbeitender Funkstationen einen bestimmten Teilnehmer rufen kann. Jeder Teilnehmerstation ist eine, z. B. einer Rufnummer entspr., Kombination von Tonfrequenzen zugeteilt, die in der Leitfunkstelle mit Tonfrequenzgeneratoren erzeugt werden und beim Wählen einer Teilnehmerstation gleichzeitig den Sender modulieren. Die Empfänger aller Stationen sind ständig eingeschaltet, aber nicht mit der Wiedergabeeinrichtung (z. B. Lautsprecher), sondern mit einer Anordnung aus Schwingungskreisen (*Selektivruf-Decoder*) verbunden, die jeweils auf die den einzelnen Teilnehmerstationen zugeteilten Tonfrequenzen abgestimmt sind. Nur bei Empfang dieser Frequenzen tritt daher an den Schwingungskreisen eine solche Spannung

auf, daß der über die Dioden fließende Strom den Lautsprecher oder eine Signaleinrichtung einschaltet. S.en werden gegenwärtig vor allem in UKW-Funknetzen verwendet, solche für den Schiffsfunk-Fernverkehr eingeführt. Wegen der hier zu erwartenden großen Teilnehmerzahl legte man zwischen 1 und 2,2 kHz 11 Tonfrequenzen (den Ziffern 0 bis 9 und einem Widerholungszeichen zugeordnet) fest, die beim Anruf nacheinander in Gruppen von jeweils 5 Impulsen (Länge 100 ms ± 10 ms, mit Pausen von 3 ms ± 2 ms dazwischen) ausgestrahlt werden, für die Ziffer 36221 z. B.:

1. Impuls	2. Impuls	3. Impuls	4. Impuls	5. Impuls
3	6	2	2	1
1275 Hz	1540 Hz	1197 Hz	2110 Hz (Wdhl.-Frequenz)	1124 Hz

Für 10 Tonfrequenzen (Wiederholungsfrequenz nicht mitgerechnet) ergeben sich 10^5 Kombinationsmöglichkeiten, so daß z. Z. jedem Seeschiff eine Selektivrufnummer zugeteilt werden könnte.
Der aus 5 Ziffern bestehenden Selektivrufnummer kann eine aus 4 Ziffern bestehende Zusatzinformation angehängt werden, die der gerufenen Seefunkstelle anzeigt, welche Küstenfunkstelle ruft und auf welcher Frequenz die Antwort erwartet wird.



Selektivrufeinrichtung: Bei Übereinstimmung von Anruf- und Resonanzfrequenzen leuchtet Lampe auf (*a*), bei Nichtübereinstimmung (*b*, *c*) dagegen nicht

Selengleichrichter: gleichrichtendes Halbleiterbauelement auf der Grundlage eines ↑ *pn*-Übergangs. Auf eine metallische Grundplatte, z. B. aus vernickeltem Eisenblech, wird eine Selenschicht gedampft oder gepreßt. Zwischen der Selenschicht und einer auf dieser angebrachten Gegenelektrode (z. B. eine Zinn-Kadmium-Schicht) bildet sich der *pn*-Übergang. Da ein S. nur bis etwa 30 V Spannung sperren kann, werden für

höhere Spannung mehrere S.-Elemente in Reihe geschaltet. Der S. erlangte vor allem Bedeutung für die Gleichstromversorgung von Nachrichtengeräten (u. a. von Rundfunk- und Fernsehempfängern) aus dem Wechselstromnetz. Reihenschaltungen zahlreicher S. (bis 400 Plättchen von etwa 2 mm Durchmesser), in einem Keramikröhrchen gestapelt, werden zur Anodenspannungsgewinnung für Bildröhren (*Selen-Hochspannungs-Stabgleichrichter, TV-Stab*) und, in entspr. Schaltung, zur Spannungsvervielfachung (z. B. für Farbfernsehempfänger) genutzt.

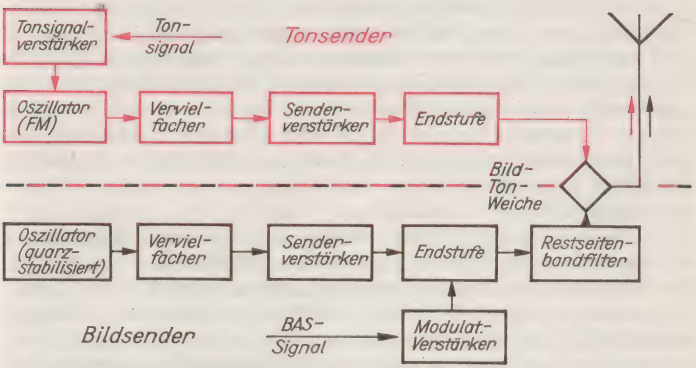
Sender: Einrichtung, in der HF-Schwingungen erzeugt, verstärkt, zur Signalübertragung moduliert und über eine Antenne als elektromagnetische Wellen ausgestrahlt werden. Die HF-Leistung reicht von Milliwatt bis zu mehreren 10 MW, das Spektrum der möglichen und angewendeten Sendefrequenzen vom Längstwellen- bis in den mm-Wellenbereich. Aktive Bauelemente der S. sind bis in den Höchstfrequenzbereich vor allem Elektronenröhren mit Dichtesteuerung, darüber solche mit Geschwindigkeitssteuerung. Für Leistungen bis um 100 W werden bis in den Höchstfrequenzbereich häufig Halbleiterbauelemente eingesetzt.

In *selbsterregten S.* erfolgen Schwingungserzeugung, Verstärkung und Modulation in einer Stufe. Ein HF-Oszillator wird so bemessen, daß er die erforderliche Leistung ohne nachfolgende Verstärkung nach Tastung oder Modulation an die Antenne abgeben kann. Den strengen Stabilitätsanforderungen der Nachrichtentechnik (vor allem in bezug auf Frequenzkonstanz) genügen selbsterregte S. jedoch nicht. Sie werden daher außer für Sonderzwecke (z. B. Schiffs-Not-S., Radiosonden) nur noch im Höchstfrequenzbereich, etwa als Radar-S., benutzt.

In *fremderregten S.* vollziehen sich Erzeugung der HF-Schwingungen, Verstärkung und Modulation sowie evtl. Frequenzvervielfachung in mehreren Stufen. Frequenzbestimmend ist der *Steuer-S.*, ein HF-Oszillator, der frequenzkonstante HF-Schwingungen nur geringer Leistung erzeugt. Durchstimmbare Steuer-S. werden aufgrund des erforderlichen Aufwands i. allg. nur für geringe Leistung (z. B. Schiffs-S. für Grenz- und Mittelwellen, max. einige 100 W) angewendet. Steuer-S. der meisten fremderregten S. ist ein Quarzoszillator. Die von ihm erzeugte Frequenz ist entweder Sendefrequenz selbst oder wird anschließend vervielfacht. Frequenzwechsel erfolgt durch Austausch des Schwingquarzes gegen einen entspr. anderen, Vervielfachung und Teilung der Grundfrequenz oder bzw. und durch ↑ Mischung der Frequenzen mehrerer Quarzoszillatoren. Auf diese Weise lassen sich (z. B. für S. des beweglichen Funkdienstes) durch Kombinieren relativ weniger Ausgangsfrequenzen zahlreiche Sendefrequenzen gewinnen, wobei der Abstimmvorgang durch Tastendruck o. ä. ausgelöst wird und dann selbsttätig abläuft.

In frequenzmodulierten S. kann der Steuer-S. nicht unmittelbar durch einen Quarz stabilisiert werden, da seine Frequenz im Modulationsrhythmus schwankt. Von einer der folgenden Stufen wird eine Regelschaltung gespeist, in der die Ausgangsfrequenz des S. mit einer in einem Quarzoszillator erzeugten konstanten Frequenz verglichen wird; daraus wird

eine Nachstellspannung für den Steuer-S. abgeleitet. Ähnlich verfährt man bei Sendern für Frequenzumtastung (Betriebsart *F 1*); daneben ist es bei Frequenzumtastung bisweilen üblich, den Steuer-S. quarzstabilisiert auszuführen und diese konstante Frequenz in einer Mischstufe mit der Frequenz eines Hilfsoszillators so zu mischen, daß am Senderausgang die erwünschten Umtastfrequenzen verfügbar sind.
Alle folgenden Stufen verstärken die geringe, vom Steuer-S. abgegebene Leistung, dürfen selbst jedoch keine Schwingungen erzeugen. Das wird durch Neutralisation und geeignete Verstärkerschaltungen, z. B. Gitterbasisschaltung, erreicht. Um Rückwirkungen der folgenden Stufen auf den Steuer-S. zu unterbinden, folgt diesem häufig eine *Pufferstufe*; sie arbeitet meist als A-Verstärker (↑ Verstärker 2.2.) und trägt neben der Trennwirkung zur HF-Verstärkung bei.



Schema eines Fernsehrundfunksenders

Da niedrige Frequenzen leichter zu stabilisieren sind als hohe, arbeitet der Steuer-S. häufig auf einer relativ niedrigen Frequenz, die erst anschließend in einer oder mehreren Stufen vervielfacht wird. Durch die gekrümmten Röhren- bzw. Transistorkennlinien entstehen bei der Verstärkung Oberschwingungen, die im Ausgang der Verstärkerstufe durch entspr. dimensionierte Schwingungskreise ausgesiebt werden. Dadurch ist Verdopplung, auch Verdreifachung in einer Stufe möglich.
Um einen hohen Wirkungsgrad zu erreichen, arbeiten die Stufen zur Leistungsverstärkung (*S. verstärker*) als B- oder C-Verstärker, mitunter in Gegentaktschaltung, in deren Ausgang jeweils Schwingungskreise liegen. Die Endstufe gibt ihre Leistung an die angepaßte und abgestimmte Antenne ab. Die Verstärkerstufen sind so ausgeführt und werden so betrieben, daß Verzerrungen der zu übertragenden Signale möglichst gering bleiben. In der *Modulationsstufe* (*Modulator*, ↑ Modulation) werden die HF-Schwingungen mit den zu übertragenden Signalen modu-

liert. Bei Vorstufenmodulation wird eine Stufe nahe dem Steuer-S., z. B. eine Vervielfacherstufe, moduliert. Die Modulationsleistung ist gering, jedoch besteht die Gefahr von Verzerrungen durch die folgenden Stufen. Bei Endstufenmodulation erfolgt die Modulation nahe dem S.ausgang. Die Modulationsleistung ist zwar hoch, dafür wird eine sehr verzerrungsarme Modulation möglich (Anwendung daher z. B. bei Rundfunk-S.). Abschirmungen und Filter, insbes. zwischen Antenne und Endstufe, verhindern die Ausstrahlung von Oberwellen nennenswerter Leistung.
Der amplitudenmodulierte Bild-S. enthält als frequenzbestimmende Stufe einen quarzstabilisierten ↑ Oszillator, dem mehrere Frequenzvervielfacher- und S.verstärkerstufen folgen. Moduliert wird i. allg. in der Endstufe des S. Das BAS-Signal wird dem Modulationsverstärker zugeführt. Neben der Bereitstellung der nötigen Modulationsleistung haben seine Stufen die Aufgabe, den Synchronisierpegel sowie Schwarz- und Weißpegel (vgl. Fernsehnorm) konstant zu halten, verformte Impulse zu regenerieren sowie Verfälschungen in der Abstufung der Grauwerte und Laufzeitunterschiede verschiedener Frequenzen des Bildsignals zu kompensieren. Da beim Fernsehrundfunk Restseitenbandmodulation angewendet wird, folgt der S.endstufe das *Restseitenbandfilter*, in dem ein Seitenband teilweise unterdrückt wird. Der Teil „Bildsender" der Abb. ist Beispiel für jeden AM-S., wobei an die Stelle des Restseitenbandfilters ein Oberwellenfilter tritt und die Antenne direkt mit diesem verbunden wird.
Der frequenzmodulierte Ton-S. (Frequenzhub ± 50 kHz) entspricht in seinem Aufbau einem Rundfunk-S. für den UKW-Bereich. In der Bild-Ton-Weiche werden die modulierten HF-Leistungen von Bild- und Ton-S. zusammengeschaltet und anschließend über eine gemeinsame Antenne ausgestrahlt. Der exakte Frequenzabstand Bildträger–Tonträger (↑ Fernsehnorm) wird selbsttätig durch Regelschaltungen aufrechterhalten.
Ein *Meß-S.* ist ein HF-Generator geringer Leistung, aber großen Abstimmbereichs, hoher Frequenzstabilität und einstellbarer Ausgangsspannung für Meßzwecke. Die HF-Spannung wird in einem, innerhalb umschaltbarer Frequenzbereiche durchstimmbaren, Oszillator erzeugt und anschließend verstärkt. Oft können durch Einschalten eines Steuerquarzes in den Oszillator und Ausnutzen der Oberschwingungen zusätzlich bes. genaue, feste Frequenzen als Eichpunkte gewonnen werden. Die HF-Spannung kann mit Tonfrequenzen, die im M. erzeugt werden, moduliert werden; eine Anschlußmöglichkeit für eine äußere Modulationsquelle ist häufig vorgesehen. Die Ausgangsspannung des Meß-S. wird angezeigt und ist über einen Spannungsteiler in weitem Bereich (z. B. zwischen einigen Mikrovolt und wenigen 100 mV) einzustellen. Meß-S. werden in der HF-Technik z. B. für Frequenzmessungen, für die Aufnahme von Resonanzkurven, zur Eichung, Kontrolle oder Abgleich von Schwingungskreisen und Filtern, für Trennschärfe- und Empfindlichkeitsmessungen an Empfängern u. ä. benutzt. Für die Instandsetzung von HF-Geräten sind sie unentbehrlich.

Senderöhre: Elektronenröhre – Triode, Tetrode oder Pentode – für die Verstärkung und Schwingungserzeugung in Sendern, Industrie-HF-Generatoren und Leistungsverstärkern. S. überstreichen einen Nutzleistungsbereich zwischen wenigen Watt und > 1 MW. Konstruktion und Abmessungen werden durch die Leistung bestimmt: S. für kleine Leistung ähneln im Aufbau den Empfängerröhren, solche für Höchstleistung erreichen eine Länge von $\geqq 1$ m. Letztere enthalten vornehmlich eine thorierte Wolfram- oder Metallfilmkatode, die direkt geheizt wird. Für Gitter und Anode bevorzugt man Molybdän und Tantal, deren gasaufzehrende Wirkung ein ↑ Getter überflüssig macht. Die Kapazitäten und Induktivitäten der Elektroden und -leitungen werden möglichst gering gehalten (z. B. scheibenförmige Anschlüsse für UKW-S., vgl. Scheibentriode).

Da in S., bes. an der Anode, eine erhebliche Wärmemenge freigesetzt wird, ist Kühlung erforderlich. Für eine Anodenverlustleistung (↑ Anode) bis um 1 kW genügt Strahlungskühlung, bei der die Anodenwärme durch große Oberfläche und Schwärzung des Anodenblechs, durch Kühlflügel am Anodenanschluß abgeführt wird. Bei Anodenverlustleistung bis um 10 kW ist *forcierte Luftkühlung* gebräuchlich; die Anode schließt den Röhrenkolben von außen ab, ist mit großflächigen Kühlrippen versehen und wird von einem Gebläse mit Luft angeblasen. Anodenverlustleistung > 10 kW beherrscht man durch Wasser- oder Verdampfungskühlung. Bei *Wasserkühlung* wird die Anode von Kühlwasser umströmt. Bei *Verdampfungskühlung* nutzt man überdies die große Verdampfungswärme des Wassers; die Röhrenanode erhitzt das Kühlwasser bis zum Verdampfen; der Dampf wird kondensiert, gekühlt und meist dem Verdampfungsgefäß erneut zugeführt.

S. werden bis in den dm-Wellenbereich eingesetzt; für noch kürzere Wellenlängen treten spezielle Höchstfrequenzröhren, wie das ↑ Magnetron, das ↑ Klystron u. a., an ihre Stelle.

Sendersuchlauf und **-vorwahl** ↑ Abstimmung.

Senditron ↑ Ignitron.

Sensorautomatik: 1. ↑ Abstimmung. – **2.** ↑ Berührungsschalter.

Serienbetrieb und **-information** ↑ Digitalrechenautomat.

SEV ↑ Sekundärelektronenvervielfacher.

SFET ↑ Transistor 2.

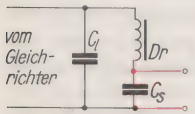
SHF ↑ Frequenzbereiche.

Sichtgerät ↑ Radar.

Siebglied: ↑ Spannungsteiler aus 2 Bauelementen, von denen mindestens 1 frequenzabhängig ist (z. B. Widerstand/Kondensator, Induktivität/Kondensator). S.er dienen meist zur Trennung von Gleich- und Wechselströmen und bilden Teile von ↑ Siebketten (z. B. C_s und Dr in Abb. bei Siebkette).

Siebkette: i. w. S. kettenartige Schaltung von ↑ Filtern aus Induktivitäten (Spulen) und Kapazitäten (Kondensatoren); i. e. S. gebräuchliche Bez. für eine Schaltungsanordnung, mit deren Hilfe (z. B. bei der Stromver-

sorgung elektronischer Geräte) der aus dem Netzwechselstrom gewonnene Gleichstrom von restlichen Wechselstromkomponenten befreit wird. Die S. besteht im einfachsten Fall aus einer Drossel *Dr* meist hoher Induktivität und einem Siebkondensator C_s, die einen Spannungsteiler bilden. Die am Ladekondensator C_l des Gleichrichters auftretende Gleichspannung U und die noch vorhandene Wechselspannung u liegen gleichzeitig am Spannungsteiler. Da C_s Gleichstrom sperrt (Widerstand im Idealfall $= \infty$), tritt U in voller Höhe am Ausgang auf, u hingegen, teilt sich, da C_s für Wechselstrom nur einen von der Kapazität und der Frequenz abhängigen Widerstand aufweist, in einen Spannungsabfall an *Dr* und einen Spannungsabfall an C_s auf. Letzterer erscheint am Ausgang der S. Er ist um so niedriger, je höher der induktive Widerstand von *Dr* und je niedriger der kapazitive Widerstand von C_s ist. Reicht die erzielte Siebwirkung nicht aus, so schaltet man ein 2. und evtl. 3. Drossel-Kondensator-Glied nach. Die Drossel kann auch durch einen Widerstand ersetzt werden; während jedoch der Gleichstromwiderstand einer Drossel i. allg. gering gegen ihren induktiven Widerstand ist und sich wenig auswirkt, tritt bei Stromentnahme aus dem Gleichrichter an dem Widerstand ein meist zu berücksichtigender Gleichspannungsabfall auf, der die Ausgangsspannung herabsetzt.



Siebkette hinter einem Gleichrichter

Siebschaltung: svw. ↑ Filter.
SIL-Gehäuse ↑ integrierte Schaltung.
Silizium-Multidioden-Vidikon ↑ Bildaufnahmeröhre.
Simplexverkehr ↑ Sprechfunk.
Simulator ↑ Analogierechenautomat.
Skiatron ↑ Dunkelschriftröhre.
Skin-Effekt, *Hautwirkung*: Erscheinung, daß Wechselstrom in einem Leiter mit wachsender Frequenz immer mehr zur Leiteroberfläche verdrängt wird und bei Höchstfrequenzen nahezu ausschl. dort [engl. skin, Haut] fließt. Der S. hat daher eine Verringerung des wirksamen Leiterquerschnitts und ein Ansteigen der Verluste zur Folge. Hervorgerufen wird der S. durch das Zusammenwirken der magnetischen Felder im Innern und außerhalb des Leiters, das eine Schwächung der Selbstinduktion in den äußeren Leiterschichten verursacht. Um den Einfluß des S. niedrig zu halten, wird die Oberfläche von Leitern für den Höchstfrequenzbereich häufig versilbert. Für niedrige Frequenzen, z. B. für Spulen des MW-Bereichs, verwendet man HF-Litze aus gegeneinander isolierten Einzeldrähten, die an den Enden sämtlich miteinander verlötet und so verdrillt werden, daß sie gleich häufig im Innern und an der Oberfläche der Litze liegen.

Software [engl. „weiche Ware"]: programmtechnischer Teil einer EDVA im Unterschied zur ↑ Hardware; i. w. S. auch Arbeitsweisen, Projektierung des Einsatzes, Schulung des Personals, organisatorische Lösungen und alles, was der Anlage zugeordnet ist, um ihre Benutzung zu erleichtern.

Solarbatterie und **-zelle** ↑ Sonnenbatterie.

Sonar [Abk. für engl. *S*ound *N*avigation and *R*anging, etwa Navigieren und Orten mit akustischen Wellen]: svw. ↑ Ultraschallortung.

Sonnenbatterie, *Solarbatterie*: um 1954 entwickelte flächenhafte Anordnung zahlreicher (oft mehrerer 10^3) ↑ Fotoelemente (Solarzellen) zur Stromversorgung elektrischer und elektronischer Geräte durch direkte Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie. Je nach Spannungs- und Strombedarf werden die Fotoelemente gruppenweise in Reihe und diese Reihen wiederum parallel geschaltet, womit man gegenwärtig einige 100 W Leistung erreicht. Um Schattenzeiten überbrücken oder kurzzeitig größere Leistung abgeben zu können, arbeiten die Solarzellen im ↑ Pufferbetrieb mit einem Akkumulator, meist einer Ni-Cd-Speicherbatterie; Zellen mit direkter Energieabgabe werden kaum verwendet, da aufgrund ihres geringen Wirkungsgrads von 11 bis 14 % sehr große Sammelflächen notwendig und sie sehr empfindlich in bezug auf den Schatteneffekt sind. S. sind vor allem für die Speisung der Bordanlagen von Raumflugkörpern wichtig. Die Solarzellen sind auf deren Oberfläche oder auf ausklappbaren „Paddeln" befestigt, die mitunter der Richtung des max. Strahlungseinfalls nachgeführt werden können. Die Solarzellen für die Raumfahrt haben i. allg. *p*-Silizium mit Phosphordotierung als Grundlage und Abmessungen bis 20 mm × 60 mm. Um Energieverluste zu vermeiden, wird die Oberfläche der Solarzellen mit einer reflexionsmindernden Schicht überzogen und außerdem mit einer Schutzschicht aus SiO_2 bedeckt.

SOS ↑ Notzeichen.

SOS-Technik [Abk. von engl. *S*ilicon *O*n *S*apphire, Silizium auf Saphir]: Verfahren zur Herstellung von CMOS-Schaltkreisen hoher Arbeitsgeschwindigkeit und Bauelementendichte. Als Substrat dient Saphir, während die Bauelemente in diesem aufgebrachten und voneinander völlig getrennten Siliziuminseln untergebracht sind.

Source ↑ Transistor 2.

Spanngitterröhren ↑ Elektronenröhre 5.

Spannungsstabilisierung: selbsttätiges Konstanthalten einer elektrischen Spannung, in der Elektronik und Funktechnik meist der Speisespannung von Geräten oder Baustufen. Zur Stabilisierung der Netzwechselspannung werden magnetische Spannungsgleichhalter bevorzugt, die magnetische Sättigungserscheinungen in Transformator- oder Drosselkernen ausnutzen: Nahe der magnetischen Sättigung wird eine Spannungsänderung auf der Primärseite eines Transformators nicht proportional, sondern in geringerem Maße auf die Sekundärseite übersetzt. Magnetische Spannungsgleichhalter arbeiten wartungsfrei, dürfen aber wegen ihrer

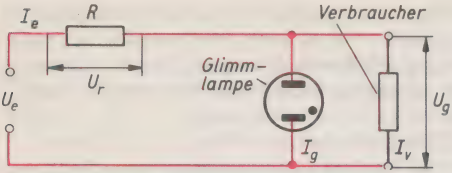


Abb. *1*: Spannungsstabilisierung mit Glimmlampe

Magnetfelder oft nicht in unmittelbarer Nähe der zu speisenden Geräte aufgestellt werden. Sie werden u. a. unter der nicht exakten Bez. „Stromregler" Fernsehempfängern vorgeschaltet. Zur Stabilisierung von Gleichspannungen bei geringer Stromstärke (z. B. Anodenstrom von Elektronenröhren) kann eine *Glimmlampe* (Glimmdiode) eingesetzt werden (Abb. *1*). Da die Brennspannung U_g vom Strom I_g durch die Glimmlampe nahezu unabhängig ist, verändert sich bei einer Schwankung der Eingangsspannung U_e und damit des Eingangsstroms I_e nur die Spannung U_r am Widerstand R, nicht aber die Spannung U_g, die gleichzeitig Klemmenspannung des Verbrauchers ist. Das gilt auch für Belastungsänderungen, da bei einer Zunahme des Stroms I_v durch den Verbraucher der Strom I_g abnimmt und umgekehrt.

Für die S. im Bereich von wenigen Volt (Speisung von transistorisierten Geräten) ist die Glimmlampe wegen ihrer hohen Brennspannung ungeeignet. Ihr Ersatz durch Z-Dioden ermöglicht sehr einfache, raumsparende Schaltungen zur S. Einen großen Spannungs- und Leistungsbereich sowie eine einstellbare konstante Gleichspannung erhält man durch eine *Regelschaltung*, die eine Elektronenröhre oder einen Transistor als veränderbaren Widerstand enthält. Sie vergleicht die jeweilige Ausgangsspannung mit einer möglichst konstanten Bezugsspannung und gewinnt daraus eine Steuerspannung, die die Röhre oder den Transistor entspr. „nachstellt". Bei *Reihenregelung* liegen Transistor (Abb. *2a*) bzw. Röhre und Verbraucher in Reihe. Die Bezugsspannung wird mit einer Stabilisatorröhre oder einer Z-Diode gewonnen, der Vergleich mit der jeweiligen Ausgangsspannung erfolgt mittels des Widerstands *R*. Bei Zunahme des Verbraucherstroms nimmt der Widerstandswert des Transistors bzw. der Röhre ab, die Ausgangsspannung sinkt nicht proportional der Stromänderung, sondern in geringerem Maße. Bei abnehmendem Verbraucherstrom steigt der Widerstand an und wirkt damit dem Spannungsanstieg am Verbraucher entgegen. Bei *Parallelregelung* ist der regelnde Transistor (Abb. *2b*) bzw. die Röhre in einem zum Verbraucher parallel liegenden Zweig angeordnet. Die Bezugsspannung wird wieder mit einer Z-Diode gewonnen, die mit dem Widerstand R in Reihe geschaltet ist. Jedes Schwanken des Verbraucherstroms (hervorgerufen durch Ändern der Eingangsspannung oder des Verbraucherwiderstands) wirkt sich auf die Basisspannung des Transistors bzw. der Röhre aus und dadurch den Spannungsänderungen am Verbraucher entgegen; der Vorwiderstand R_V hat dabei die gleiche Aufgabe wie der Widerstand R in Abb. *1*. Die Wirkung dieser Regelschaltungen läßt sich verbessern, wenn

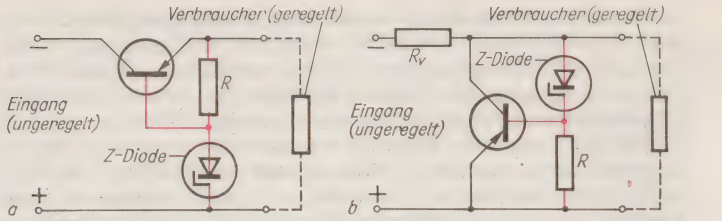


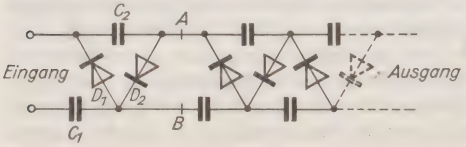
Abb. 2: Reihen- (a) und Parallelregelung (*b*) bei Spannungsstabilisierung mit Transistoren

die Steuerspannung des zu beeinflussenden Transistors bzw. der Elektronenröhre zunächst (durch einen weiteren Transistor oder eine weitere Röhre) verstärkt wird. Die Schaltungen können, z. B. durch ↑ Spannungsteiler, so erweitert werden, daß die stabilisierte Ausgangsspannung innerhalb weiter Grenzen veränderbar ist.

Spannungsteiler: Anordnung aus mehreren Widerständen, mit der aus einer Spannung U eine oder mehrere Teilspannungen U_1, U_2 ... gewonnen werden können. S. sind aus Ohmschen Widerständen, für die Teilung von Wechselspannungen auch aus kapazitiven (vgl. Kondensator) oder induktiven Widerständen (vgl. Induktivität) oder auch gemischt (Ohmscher und kapazitiver bzw. induktiver Widerstand) aufgebaut. Für den unbelasteten S. ($R_3 = \infty$) gilt: $U_1 = U[R_1/(R_1 + R_2)]$ bzw. $U_2 = U[R_2/(R_1 + R_2)]$.

Beim belasteten S. ($R_3 \neq \infty$) werden R_2 und R_3 wie parallelgeschaltete Widerstände berechnet und daraus die Teilspannungen bzw. -ströme ermittelt. Veränderbare S., *Potentiometer*, dienen der stetigen Einstellung elektrischer Größen.

Spannungsvervielfacher: Schaltung zum Gleichrichten von Wechselspannung und zu deren Vervielfachung. In der Abb. wird z. B. während der 1. Wechselspannungshalbwelle C_1 über D_1 aufgeladen. Bei der 2. Halbwelle sperrt D_1, C_2 wird über D_2 geladen. Zwischen A und B kann infolgedessen Gleichspannung vom doppelten Wert der Eingangs-Scheitelspannung abgenommen werden. Sie sinkt bei Anschluß eines Verbrauchers um einen von Kapazität der Kondensatoren und Stromentnahme abhängigen Betrag. Durch Hinzuschalten weiterer Dioden und Kondensatoren ist Spannungsvervielfachung möglich. S. werden in der Elektronik z. B. angewendet, um hohe Anodenspannungen für Elektronenstrahlröhren zu gewinnen.



Kaskadenschaltung zur Spannungsvervielfachung

Speicher: Einrichtung zum Bewahren von Informationen, die mit kontinuierlich veränderbarer Amplitude auftreten (*Analog-S.*, z. B. ↑ Magnetbandgerät, ↑ Schallplatte), oder als binäre Zeichen in Digitalrechenautomaten (Arbeits- bzw. externe S., vgl. Digitalrechenautomat und Peripheriegeräte 3.) verarbeitet werden (*Digital-S.*). Wichtige Kenngrößen digitaler S. sind die *S.kapazität*, d. h. das Fassungsvermögen des S., angegeben in bit, Zeichen oder Wörtern, und die *Zugriffszeit*, d. h. die Zeit zwischen dem Abrufen einer Information und ihrem Erscheinen am S.ausgang. Der S. ist in Zellen von Wort- bzw. Zeichenlänge eingeteilt, deren Lage im S. durch eine in Binärziffern ausgedrückte *Adresse* gekennzeichnet ist. Sie dient zum Aufsuchen oder Einordnen von Informationen während des Arbeitsablaufs.

In *Schreib-und-Lese-S.* können in den durch eine Adresse festgelegten Zellen Informationen geschrieben, gelöscht und ausgelesen werden. In *S. mit wahlfreiem Zugriff* [Abk. *RAM* von engl. *R*andom *A*ccess *M*emory, etwa Speicher mit Zugriff nach Belieben] kann jede Zelle unmittelbar, ohne Berücksichtigung ihrer Lage gegenüber anderen, angesprochen werden. Zu den RAM zählen bes. die unter 1. gen. S. mit matrixförmiger Zellenanordnung.

Im Gegensatz zu Schreib-und-Lese-S. kann der Inhalt von *Fest(wert)-S.* [Abk. *ROM* von engl. *R*ead *O*nly *M*emory, Nur-Lese-S.] i. allg. nicht verändert werden. Er wird (meist bei der Herstellung) festgelegt und kann wiederholt und wahlfrei gelesen werden. ROM sind wichtig für die Speicherung von Konstanten, mathematischen Funktionen, lexikografischen Begriffen usw., und werden bes. als Halbleiter-S. (s. u.) ausgeführt.

1. Magnetische S., d. h. S. auf der Grundlage magnetisierbaren Materials, sind gegenwärtig am meisten verbreitet. *Ferritkern-S.* nutzen die Eigenschaft von Ferritkernen, bei einer bestimmten magnetischen Feldstärke nahezu sprungartig ummagnetisiert zu werden. Jeder der beiden möglichen Magnetisierungsrichtungen ordnet man eine Binärziffer zu. In einer Ebene sind zahlreiche ringförmige Ferritkerne (Außendurchmesser etwa 0,3 mm) auf die Kreuzungspunkte zueinander senkrecht verlaufender x- und y-Drähte (auch Zeilen- und Spaltenleitungen genannt) geschoben; wegen dieser Anordnung ist auch die Bez. *Matrix-S.* gebräuchlich. Bei der Annahme, alle Kerne seien im Zustand „L", ist das Magnetfeld eines Stroms bestimmter Stärke und Richtung (I) nötig, um einen Kern in den Zustand „H" zu überführen. Zum „Schreiben" einer Information wird durch denjenigen x- und denjenigen y-Draht, an deren Kreuzung sich der umzumagnetisierende Kern befindet, gleichzeitig je 1 Stromimpuls der Stärke $I/2$ geschickt. Am Kreuzungspunkt überlagern sich die Felder, und der dort sitzende Kern „kippt" in den Zustand „H". In den übrigen Kernen auf dem stromdurchflossenen x- und y-Draht tritt dagegen nur die halbe Feldstärke auf, so daß die in ihnen gespeicherten Informationen erhalten bleiben. Um den Zustand „H" in den Zustand „L" zu überführen, kehrt man die Stromrichtung um und leitet einen

Impuls der Stärke – $I/2$ durch den betr. x- und den betr. y-Draht. Zum „Lesen" der Informationen dient eine diagonal durch alle Kerne laufende *Leseleitung*. Dem abzufragenden Kern wird auch hier durch x- und y-Draht je ein Impuls – $I/2$ zugeführt. Ist in ihm „H" gespeichert, so wird der Kern ummagnetisiert und im Lesedraht ein Spannungsimpuls induziert; ist „L" gespeichert, ändert sich nichts. Das gespeicherte „H" wird beim Lesen gelöscht und muß, sofern es weiter benötigt wird, nach jedem Lesezyklus erneut geschrieben (rückgeschrieben) werden, was selbsttätig geschieht; die kürzeste Zeit bis zum nächsten möglichen Lesen heißt *Zykluszeit* ($< 5\,\mu$s). Die S.kapazität von Ferritkern-S. erreicht 10^7 bit und darüber, die Zugriffszeit bis zu $< 1\,\mu$s. In Matrixform werden *S. mit Transfluxoren* aufgebaut, runden Ferritscheiben mit mindestens 2 Bohrungen unterschiedlichen Durchmessers. Es bilden sich 2 Wege des magnetischen Flusses aus, durch deren gegenseitige Beeinflussung u. a. erreicht wird, daß gespeicherte Informationen beim Lesen nicht gelöscht werden.

In *Dünnschicht-S.* geschieht die Speicherung auf nur etwa 0,1 μm dicken magnetisierbaren Schichten, die z. B. mittels der Maskentechnik (↑ Halbleitertechnologie) als matrixartige angeordnete kleine Bezirke auf ein Trägermaterial aufgebracht werden. Eine darüberliegende Isolierschicht und die Unterseite des Trägermaterials werden mit den Verbindungen zum Schreiben und Lesen bedampft.

Bisher wurde eine S.kapazität bis zu 10^6 bit verwirklicht; man erwartet Verkürzungen der Zykluszeit von Mikrosekunden auf 100 ns. Die gegenwärtig in Entwicklung befindlichen *Domänentransport-S.* (Magnetblasen-S.) nutzen zur Informationsspeicherung das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein „magnetischer Domänen" („Blasen"), mikroskopische, zylinderförmige magnetische Bereiche, die in dünnen Schichten ferrimagnetischer Materialien erzeugt und durch ein sich in der Schichtebene drehendes Magnetfeld transportiert werden können.

Bei *Magnetdraht-S.* befindet sich die magnetisierbare Schicht auf Drähten, die parallelliegend in eine Plastplatte eingebettet sind und von Leitungen zum Lesen und Schreiben gekreuzt werden. Zugriffszeiten von 125 ns wurden erzielt.

Ein weiterer Magnetdraht-S., der *Twistor* [von engl. to twist, wickeln], besteht aus Drähten mit unter 45° zur Achse geneigter Vorzugsrichtung der Magnetisierung und (mindestens) einer Wicklung auf dem Magnetdraht. Gleichzeitige Stromimpulse durch Magnetdraht und Wicklung(en) rufen schraubenförmige Magnetisierung hervor, deren Umlaufsinn stromrichtungsabhängig ist. Ein Leseimpuls kippt die Magnetisierung in axiale Richtung zurück, wobei im Magnetdraht ein von der vorausgegangenen Magnetisierung abhängiger Spannungsimpuls als Lesesignal induziert wird.

Magnetband-S. ähneln in Funktion und Aufbau dem ↑ Magnetbandgerät. Das Magnetband trägt bis zu 18 Parallelspuren, die von Lese- und Schreibköpfen (den Aufnahme- und Wiedergabeköpfen von Magnetband-

geräten entspr.) abgetastet werden, und läuft mit einer Geschwindigkeit bis zu mehreren Metern je Sekunde. Je Band wird eine S.kapazität bis 10^{10} bit erzielt; die Zugriffszeit kann mehrere Minuten erreichen.

Der *Magnettrommel-S.* trägt die Informationen auf einer rotierenden, mit magnetisierbarem Material belegten Trommel (Durchmesser bis 40 cm, Länge bis 60 cm, Drehzahl bis 300 s^{-1}). Dicht über der Trommeloberfläche sind Lese- und Schreibköpfe angebracht, die die mit etwa 1 mm Abstand nebeneinanderliegenden Spuren abtasten bzw. schreiben. Es ist eine S.kapazität von $> 10^6$ bit und eine Zugriffszeit von wenigen Millisekunden erreichbar.

Der *Magnetplatten-S.* trägt auf einer rotierenden Achse in Abständen Scheiben bis 1 m Durchmesser. Sie sind beiderseits mit 100 bis 700 Spuren in Gestalt konzentrischer Kreise belegt, die von verschiebbaren Lese- und Schreibköpfen abgetastet bzw. geschrieben werden. Die S.kapazität beträgt bis zu 10^9 bit, die Zugriffszeit bis zu mehreren 100 ms. Die Platten sind auswechselbar.

In *Magnetkarten-S.* dienen rechteckige, mit magnetisierbarem Material beschichtete Folien als Informationsträger. Sie werden einem Magazin entnommen und (z. B. durch Ansaugen mit Hilfe von Unterdruck) auf eine rotierende Trommel „gespannt". Die S.kapazität erreicht 10^{10} bit, die Zugriffszeit ist < 1 μs.

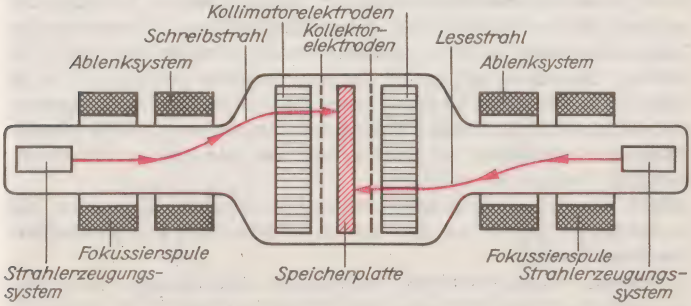
2. Halbleiter-S. gewinnen mit der Entwicklung der Schaltkreistechnologien rasch an Bedeutung und werden nahezu ausschließlich als integrierte Schaltungen hergestellt. S.elemente sind meist Flip-Flop-Anordnungen (↑ Multivibrator 2.), wobei 1 Flip-Flop 1 bit speichern kann. Mit bipolaren Transistoren werden S.dichten um 100 bit/mm^2, Zugriffszeiten um 10 ns und S.kapazitäten von $> 10^3$ bit/Chip erreicht.

Der Einsatz der MOS-Technik (↑ Schaltkreis) mit Feldeffekttransistoren ist durch einfachere Technologie, größere S.dichte, jedoch längere Zugriffszeit gekennzeichnet. Diese beträgt meist noch > 100 ns, die S.dichte um 10^3 bit/mm^2, die S.kapazität $> 4 \cdot 10^3$ bit/Chip. Weitere Verkürzungen der Zugriffszeit und Erhöhungen der S.dichte bahnen sich durch Anwendung der CMOS-Technik und der ↑ SOS-Technik an.

Bei S. auf der Grundlage von ↑ Ladungsverschiebungsschaltungen kennzeichnen vorhandene bzw. nicht vorhandene Kondensatorladungen die Zustände „L" bzw. „H". S.dichten von $6 \cdot 10^3$ bit/mm^2 (etwa $6 \cdot 10^4$ bit/Chip) und Zugriffszeiten um 10 μs werden erreicht. Halbleiter-S. auf der Basis von Tunneldioden, ↑ Gunn-Elementen und ↑ Kryotronen werden erprobt.

Halbleiter-S. sind häufig ROM. Programmierbare ROM (Abk. *PROM*) werden erst nach der Fertigstellung programmiert, z. B. vom Anwender mit Hilfe eines „Programmiergeräts", das etwa Leiterbahnen oder Diodenstrecken dem Speicherinhalt entspr. „durchbrennt". Löschbare PROM [Abk. *EPROM*, auch *REPROM*, von engl. *E*rasable *PROM* bzw. *Re*programmable *ROM*, löschbarer PROM bzw. wiederprogrammierbarer ROM] können erneut und wiederholt programmiert werden, nach-

dem durch UV-Strahlung der gesamte S.inhalt gelöscht wurde.
3. Optische S.: Neben fotografischen S. (ROM), in denen Informationen z. B. als Lichtpunkte in einem Matrixschema gespeichert werden, sind bes. *holografische S.* Forschungsthema. Sie speichern Informationen nicht in Gestalt eines „Bitmusters", sondern als Hologramm, wodurch sich neben großer S.dichte weitgehende Störunabhängigkeit ergibt. Holografische S. mit S.dichten um 10^4 bit/mm^2 und Zugriffszeiten von wenigen Mikrosekunden wurden realisiert, S.kapazitäten von $> 10^{11}$ bit scheinen möglich.
4. Laufzeit-S.: In Laufzeit-S. werden eingegebene Informationen kurzzeitig dadurch gespeichert, daß sie eine ↑ Verzögerungsleitung oder eine ↑ Ladungsverschiebungsschaltung durchlaufen, am Ausgang verstärkt und erneut eingegeben werden.
Speicherröhre: ↑ Elektronenstrahlröhre, mit deren Hilfe sich Signale fixieren und nach einer – oft wählbaren – Zeitspanne einmal oder wiederholt abrufen lassen.
Signal-S. speichern elektrische Signale und geben elektrische Signale ab. In der Funktionsweise unterscheiden sich die verschiedenen Bauformen nicht. Hauptteil der Signal-S. ist eine *Speicherplatte* aus hochwertigem Isoliermaterial oder einem Raster winziger, integrierter Fotodioden (vgl. Bildaufnahmeröhre). Ein in einem Strahlerzeugungssystem gewonnener, in seiner Intensität von den zu speichernden Signalen gesteuerter Elektronenstrahl, der *Schreibstrahl*, wird nach Durchlaufen einer Fokussierspule durch ein Ablenksystem zeilenweise oder auf einer Spiralbahn über die Speicherplatte geführt, wobei eine ringförmige Hilfselektrode, die sog. Kollimatorelektrode, für senkrechtes Auftreffen sorgt (Abb.), und löst an den Auftreffstellen Sekundärelektronen aus. Sie werden von einer Kollektorelektrode aufgefangen. Elektronengeschwindigkeit und Material der Speicherplatte werden so gewählt, daß der Ausbeutefaktor > 1 ist (vgl. Elektronenemission). Die vom Schreibstrahl getroffenen Stellen der Speicherplatte erhalten infolgedessen eine von der augenblicklichen Intensität des Elektronenstrahls abhängige positive Ladung.



Signalspeicherröhre

Ein Ladungsausgleich von Stelle zu Stelle erfolgt kaum. Auf der Speicherplatte entsteht ein Ladungsbild der zeitlichen Intensitätsschwankungen des Schreibstrahls und damit der zu speichernden Signale; es kann bis zu mehreren Tagen erhalten bleiben. Ein 2. Elektronenstrahl (mit geringerer Elektronengeschwindigkeit), der *Lesestrahl*, ruft die gespeicherten Signale ab. Er tastet das Ladungsbild Punkt für Punkt ab und löscht die positiven Ladungen durch Ladungsausgleich. Die von nicht positiv geladenen Stellen der Speicherplatte zurückgestoßenen Elektronen werden von der Kollektorelektrode aufgefangen. In einem Stromkreis, dem Lesestrahl oder Kollektorelektrode angehören, entstehen Stromschwankungen, die den abgetasteten, als Ladung gespeicherten Signalen entsprechen.

Mit manchen Signal-S. kann (Abb.) gleichzeitig geschrieben und gelesen werden, in anderen wird – zeitlich jeweils nacheinander – ein Elektronenstrahl zum Lesen und Schreiben benutzt.

Signal-S. werden verwendet, um eine Fernsehnorm in eine andere umzuwandeln, um Radarbilder zu übertragen und „feste" von „beweglichen" Zielen zu unterscheiden, um durch mehrmaliges Schreiben schwacher Signale auf die Speicherplatte diese zu „integrieren", d. h. zu verstärken, um Daten in EDVA zu speichern und abzurufen usw.

In *Sicht-S.* werden elektrische Signale gespeichert und als sichtbare Schirmbilder abgerufen; hierzu ist die Speicherplatte dicht hinter einem Bildschirm angeordnet. Während der Schreibstrahl fokussiert und durch ein Ablenksystem geführt wird, erfährt der Lesestrahl keine Ablenkung, sondern wird durch Hilfselektroden so aufgefächert, daß seine Elektronen die ganze Speicherplatte gleichzeitig, gleichmäßig und senkrecht berieseln, ohne jedoch zunächst durch die negativ geladene Speicherschicht zum Bildschirm vordringen zu können. Wird der Schreibstrahl über die Speicherplatte geführt, so ruft er durch Auslösen von Sekundärelektronen eine „Spur" positiver Ladungen hervor. An diesen Stellen können die Lesestrahlelektronen zum Bildschirm vordringen. Die vom Schreibstrahl erzeugte Spur wird auf dem Leuchtschirm sichtbar und bleibt bis zu mehreren Minuten erhalten. Schaltet man den Lesestrahl ab, so kann die Spur mehrere Tage gespeichert und durch Einschalten des Lesestrahls erneut sichtbar gemacht werden. Wird die Spur mit Hilfe positiver Spannungsimpulse auf der Speicherplatte gelöscht, so ist die Sicht-S. für eine neue Aufnahme bereit. Sicht-S. werden z. B. angewendet, um einmalig ablaufende Vorgänge sofort auswerten, zeitlich getrennt ablaufende miteinander vergleichen oder um sehr langsam ablaufende Vorgänge beobachten zu können.

Bild-S. wandeln ein optisches, auf eine Speicherplatte projiziertes Bild in elektrische Signale um. Sie werden hauptsächlich als ↑ Bildaufnahmeröhren benutzt.

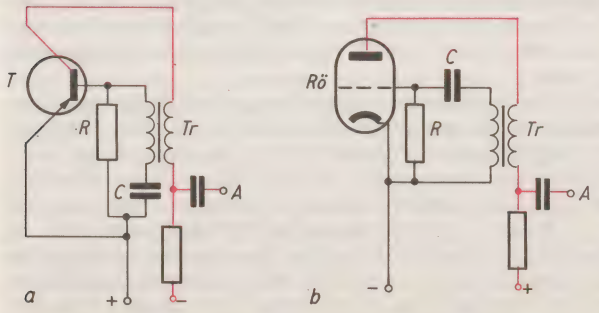
Sperrkreis: Parallel-↑ Schwingungskreis, der Schwingungen seiner Resonanzfrequenz schwächt oder ganz unterdrückt (sperrt). So wird z. B. ein S. in die Antennenzuleitung eines Empfängers geschaltet, um Stö-

rungen durch einen bes. stark einfallenden oder auf ZF arbeitenden Sender zu unterdrücken; in ↑ Fernsehempfängern liegt zwischen Videoverstärker und Bildröhre ein auf die Differenzfrequenz abgestimmter S., um diese von der Bildröhre fernzuhalten.

Sperr-Röhre: Gasentladungsröhre für die Sende-Empfangs-Umschaltung in Radargeräten (↑ Radar). In einem mit Gas unter niedrigem Druck gefüllten Kolben stehen sich 2 Elektroden gegenüber. Über eine Hilfsentladungsstrecke wird dauernd eine schwache Entladung aufrechterhalten, damit jederzeit Ionen zum Einleiten der Hauptentladung zur Verfügung stehen. Letztere wird bei jedem HF-Impuls des Sendeteils gezündet und anschließend in Bruchteilen einer Mikrosekunde wieder gelöscht, so daß das Gerät erneut empfangsbereit ist. Die Elektrodenzuführungen sind so gestaltet (z. B. ringförmig), daß sich die S. leicht in ↑ Hohlleiter einfügen läßt oder Teil von ihnen sein kann.

Sperrschicht ↑ *pn*-Übergang.

Sperrschwinger [engl. *blocking-oscillator*]: zum Erzeugen angenähert rechteck- oder dreieckförmiger Impulse dienende Schaltung nach dem Prinzip des Meißnerschen ↑ Oszillators, wobei durch einen Transformator eine sehr feste Rückkopplung herbeigeführt wird. S. können ohne äußeren Anstoß selbstschwingend (als Impulsgenerator) oder impulsgesteuert (als Impulsformer) arbeiten. In Abb. a fließt bei Anlegen der Betriebsspannung ein schwacher Strom durch die Kollektorseite des Transformators *Tr*. In der mit der Basis des Transistors *T* verbundenen Transformatorwicklung wird eine Spannung induziert, die – richtige Polung der Transformatorwicklung vorausgesetzt – der Basis eine negative Vorspannung erteilt. Das hat einen steigenden Strom durch Transistor und kollektorseitige Transformatorwicklung zur Folge, wodurch wiederum die Emitterspannung wächst und den Strom weiter anwachsen läßt. Gleichzeitig wird der Kondensator *C* geladen. Ist auf diese Weise der Sättigungsstrom erreicht, so hört die Induktionswirkung auf, der Transistor erhält keine Emitterspannung mehr und sperrt. Sobald sich der Kondensator *C* über den Widerstand *R* entladen hat, setzt der Vorgang

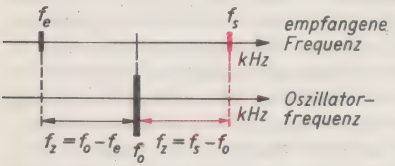


Sperrschwinger, a mit Transistor, *b* mit Elektronenröhre

erneut ein. Die Impulsfrequenz hängt von der ↑ Zeitkonstante *RC* ab; die erzeugten Impulse können z. B. am Punkt *A* abgenommen werden.
Abb. *b* zeigt einen mit einer Triode bestückten S. Die Röhre sperrt, wenn durch die zunehmend negative Gittervorspannung der Anodenstrom unterbrochen wird („blocking"). Nach Entladen des Kondensators *C* setzt der Vorgang wieder ein.
Durch Zuführen von äußeren Steuerimpulsen, z. B. an die Basis des Transistors oder an das Steuergitter der Röhre, läßt sich der S. leicht synchronisieren. S. werden u. a. in den ↑ Ablenkstufen von Fernsehempfängern und in ↑ Gleichspannungswandlern eingesetzt.

Spezialverstärkerröhre ↑ Elektronenröhre.

Spiegelfrequenz: im ↑ Superhet neben der eingestellten Empfangsfrequenz f_e auftretende Frequenz f_s, die gegenüber f_e symmetrisch (spiegelbildlich) zur Oszillatorfrequenz f_o liegt, sich also von f_e um den doppelten Betrag der Zwischenfrequenz f_z unterscheidet. Beim Mischvorgang gibt es für jede Oszillatorfrequenz f_o 2 Frequenzen am Eingang des Empfängers, die sich mit f_o zur Zwischenfrequenz f_z mischen: $f_z = f_o - f_e$ und $f_z = f_s - f_o$ (sofern, wie üblich, $f_o > f_e$). Ein auf f_s zur Mischstufe vordringender Sender ruft daher *S.störungen* hervor, die



Zum Begriff Spiegelfrequenz

entweder darin bestehen, daß dieser Sender mitzuhören ist oder aber (bei einer geringfügigen Abweichung von $f_e + 2f_z$) Pfeifen im Lautsprecher hervorruft. Außerdem ergibt eine Empfangsfrequenz f_e die Zwischenfrequenz f_z mit 2 um $2f_z$ auseinanderliegenden Oszillatorfrequenzen. Das kann zur Folge haben, daß jeder Sender an 2 Stellen der Abstimmskale zu empfangen ist. S.störungen lassen sich durch hohe Trennschärfe bewirkende Vorstufen vor der Misch-und-Oszillator-Stufe vermeiden; außerdem rücken f_e und f_s um so weiter auseinander, je höher f_z gewählt wird.

Sprechfunk: ↑ Funktelefonie vorwiegend über geringe Entfernung (max. einige 100 km), bes. im beweglichen Funkdienst (d. h. beim ↑ Seefunkverkehr, ↑ Flugfunkverkehr, ↑ Verkehrsfunk, ↑ Rangierfunk) im Grenz- und m-Wellenbereich angewendet. Die Geräte (vgl. Handfunksprechgerät) sind i. allg. so ausgeführt, daß sie von jedermann bedienbar sind. Mitunter – z. B. beim Verkehrsfunk und bei UKW-Seefunkgeräten – ist Einschaltung des S. in das drahtgebundene Fernsprechnetz möglich. Die Sendeleistung erreicht max. einige 10 W; Betriebsarten sind amplitudenmodulierte Telefonie (*A 3*), im m-Wellenbereich vorwiegend frequenzmodulierte Telefonie (*F 3*). Es gibt verschiedene S.verkehrsarten.

Wechselsprechverkehr (*Simplexverkehr*): Beim *Einkanal-Simplexverkehr* benutzen beide Funkstellen einer Verbindung eine Frequenz. Es kann also nur gesendet oder empfangen werden, die Sendung läßt sich durch die Gegenstelle nicht unterbrechen. Gehören mehrere Funkstellen zu einem Netz, so kann jeweils nur eine senden. Beim *Zweikanal-Simplexverkehr* arbeitet jeder Sender von 2 Funkstellen jeweils mit dem Empfänger der Gegenstelle auf einer Frequenz zusammen; auch hier kann aber eine Sendung durch die Gegenfunkstelle nicht unterbrochen werden.
Gegensprechverkehr (*Duplexverkehr*): Sender und Empfänger einer Funkstelle sind gleichzeitig auf 2 Frequenzen in Betrieb, so daß die Sendung der Gegenstelle jederzeit unterbrochen werden kann. Diese Betriebsweise entspricht der beim üblichen Fernsprecher, so daß die Überleitung von Gegensprechverkehr in ein Draht-Fernsprechnetz möglich ist.
Semi-Duplexverkehr nimmt eine Zwischenstellung ein. Die Leitfunkstelle eines Funknetzes (z. B. beim Verkehrsfunk) arbeitet im Gegensprechverkehr, während die beweglichen Funkstellen mit ihr nur im Wechselsprechverkehr verbunden sind.

Sprechhilfe, elektronische: Gerät zum teilweisen Ersatz der nicht mehr vorhandenen Kehlkopffunktion, z. B. nach Operation. Arbeitsprinzip ist, die vorher durch den Kehlkopf bewirkte Modulation des zum Sprechen nötigen Luftstroms durch einen elektronisch – z. B. in einer integrierten Multivibratorschaltung (↑ Multivibrator) – erzeugten Summerton zu ersetzen und so mit Hilfe der übrigen an der Sprachbildung beteiligten Organe (Rachen- und Mundraum, Zunge u. a.) die Möglichkeit der mündlichen Verständigung wiederherzustellen. Die Zuführung des Summertons erfolgt durch den Mund, wobei die e. S. in Form einer Pfeife oder einer Zigarettenspitze ausgeführt ist, oder durch Anpressen eines stabtaschenlampenförmigen Geräts an die Weichteile des Halses. Tonhöhe und häufig auch Lautstärke lassen sich regeln. Man bemüht sich jetzt darum, die e. S. im Mund unterzubringen, entweder, indem nur der Schallwandler für den Summerton am Gaumen angebracht und über Draht oder drahtlos von außen gespeist oder indem das gesamte, extrem verkleinerte Gerät in eine Gebißprothese eingebaut wird.

Sprechleistung ↑ Ausgangsleistung.

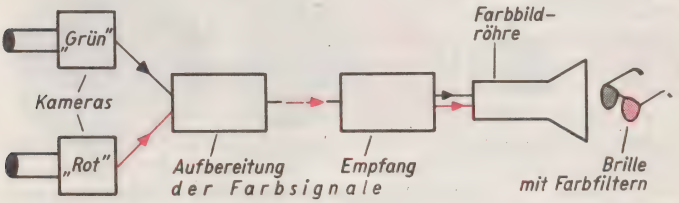
Spule: Anordnung aus mehreren parallelen, gegeneinander isolierten Drahtwindungen, die in gleichem Sinne von Strom durchflossen werden. S. bilden die Wicklungen von Transformatoren, Relais, Elektromagneten, elektrischen Maschinen u. a. und werden als selbständige Bauelemente in ↑ Schwingungskreisen sowie als ↑ Drosseln verwendet. Wichtigste Kenngröße einer S. ist ihre ↑ Induktivität. S.nverluste werden vor allem durch den Ohmschen Widerstand der Windungen, durch den bes. im HF-Bereich in Erscheingung tretenden ↑ Skin-Effekt sowie als dielektrische Verluste (↑ Dielektrikum) in der Isolation der S.nwindungen und im S.nkörper hervorgerufen; bei S. mit ferromagnetischem Kern kommen Kernverluste hinzu. Man denkt sich alle Verluste durch einen in Reihe

mit der als verlustfrei angenommenen S. liegenden Widerstand dargestellt. Sein Verhältnis zum induktiven Widerstand heißt *Verlust-* oder *Dämpfungsfaktor* der S., sein Kehrwert *S.ngüte*; er erreicht Werte von >400. Zwischen den Windungen einer S., bei mehrlagigen S. überdies zwischen den Lagen, treten Kapazitäten auf; die sich aus der Reihenschaltung dieser Einzelkapazitäten ergebende *Eigenkapazität* der S. muß bei vielen Anwendungen berücksichtigt werden.

S. für den HF-Bereich können ein- oder mehrlagig auf einen zylindrischen Körper ohne oder mit Kern gewickelt werden. Um die Auswirkungen des Skin-Effekts niedrig zu halten, wird meist HF-Litze verwendet. S. für den Höchstfrequenzbereich, in dem HF-Litze keine Vorteile bringt, werden aus Volldraht, seltener Rohr oder Band, mit möglichst gut leitender, z. B. versilberter, Oberfläche gewickelt. Zur Verringerung der dielektrischen Verluste verzichtet man hier auf eine Isolierung des Drahtes und wickelt die S. freitragend – nur die S.nenden sind an Isolatoren befestigt – oder auf einen Rippenkörper aus Isoliermaterial. Um die Eigenkapazität von HF-S. niedrig zu halten, wählt man häufig Wicklungsarten, bei denen die Windungen der einen Lage nicht parallel zu denen der anderen Lagen liegen, sondern einander unter einem Winkel schneiden (z. B. *Kreuzwickel-S.*); auch unterteilt man den Wickelkörper durch Scheiben in mehrere Kammern, auf die die Wicklung verteilt wird. HF-S. enthalten häufig einen Kern aus ferromagnetischem Material. Er bewirkt die Vergrößerung der Induktivität um einen von Kernmaterial und -form abhängigen Faktor μ_w, die sog. *wirksame Permeabilität*, der das Verhältnis der Induktivität zwischen S. mit und ohne Kern angibt, z. B. $\mu_w = 3$; daraus ergeben sich Verminderung der für eine vorgegebene Induktivität benötigten Windungszahl, Abnahme des Ohmschen Widerstands, Steigerung der S.ngüte, Verringerung des Raumbedarfs der S., geringe Streuwirkung der magnetischen Feldlinien sowie einfache Möglichkeit einer Induktivitätsänderung durch Verstellen des Kerns oder von Kernteilen. Im Kern treten zusätzlich *Kernverluste* durch Wirbelströme und durch die ständige Ummagnetisierung des Kernmaterials auf, an denen die mit der Frequenz rasch wachsenden Wirbelströme den größten Anteil haben. Um sie möglichst niedrig zu halten, wurden früher *Massekerne* aus einer Mischung von Eisenpulver und einem isolierenden Bindemittel verwendet. Heute werden i. allg. Ferritkerne bevorzugt, die günstigere magnetische Eigenschaften haben und wegen ihres sehr hohen spezifischen Widerstands auch ohne isolierendes Bindemittel sehr geringe Wirbelstromverluste aufweisen. Die Kerne werden in verschiedenen Ausführungen produziert und bieten stets (etwa durch einen ebenfalls aus dem Kernmaterial bestehenden ein- bzw. ausschraubbaren Gewindebolzen) eine Möglichkeit zur Induktivitätsänderung.

S. für den NF-Bereich enthalten stets einen Kern, da ohne ihn die benötigte hohe Induktivität ökonomisch nicht zu erreichen wäre. Der Kern besteht, um die Kernverluste niedrig zu halten, aus geschichteten, voneinander isolierten ferromagnetischen Blechen (vgl. Transformator).

SSB ↑ Einseitenbandverfahren.
SSI ↑ Halbleiterblocktechnik.
Steckkarte: Baustein bzw. -gruppe, die „flächenhaft", meist als ↑ gedruckte Schaltung ausgeführt ist und an einer Kante eine Stecker- oder Messerleiste trägt, über die nach Einfügen in entspr. Gegenstücke die Verbindung mit weiteren S. oder anderen Teilen eines elektronischen Geräts hergestellt wird. Im Falle eines Gerätedefekts ist der Fehler durch Austausch von S. leicht lokalisier- und behebbar.
Steilheit ↑ Elektronenröhre.
Stereodecoder ↑ Pilottonverfahren.
Stereofernsehen: Gewinnung eines räumlichen Bildeindrucks bei Fernsehübertragungen. Beim *Ein-Kamera-Verfahren* wird das Kameraobjektiv durch ein „zweiäugiges" Stereoobjektiv ersetzt; auf dem Bildschirm des Empfängers erscheinen nebeneinander ein „rechtes" und ein „linkes" Bild. Vor dem Bildschirm sind 2 Polarisationsfilter mit um 90° verdrehter Polarisationsebene angeordnet, und der Betrachter muß eine entspr. Polarisationsbrille tragen. Beim *Zwei-Kamera-Verfahren* wird die Szene von 2 Kameras in Augenabstand (oder darüber) aufgenommen, und die beiden Bilder werden gleichzeitig oder in schneller Aufeinanderfolge übertragen. Die Wiedergabe geschieht durch 2 Empfänger mit Polarisationsfilter vor den Bildschirmen, deren Bilder optisch vereinigt und durch eine Polarisationsbrille betrachtet werden. Beim *Zwei-Kamera-Farbverfahren* wird die Szene von 2 Kameras mit vorgesetztem Grün- bzw. Rotfilter aufgenommen; die erhaltenen Signale steuern den „grünen" bzw. den „roten" Elektronenstrahl einer Farbbildröhre. Das Bild wird durch eine Brille mit Grün- und Rotfilter betrachtet. – Die bisher bekannten Verfahren bedingen größere Bandbreite oder Informationsverlust gegenüber üblichen Fernsehverfahren. Daher wird S. wegen des hohen Aufwands und der unbequemen Betrachtung bisher nur für wissenschaftliche Zwecke genutzt, z. B. als Hilfsmittel zur Handhabung von Manipulatoren in strahlengefährdeten oder evakuierten Räumen.



Stereofernsehen: Zwei-Kamera-Farbverfahren

Stereofonie: Bez. für elektroakustische Übertragungsverfahren, bei denen am Ort der Wiedergabe nicht nur Frequenz und Dynamik aufgenommener Signale, sondern annähernd auch die räumliche Anordnung der sie

erzeugenden Schallquelle durch Übermittlung von Richtungsinformationen zum Ausdruck kommen, so daß man die einzelnen besser heraushört und dadurch akustische Darbietungen „durchsichtiger" erscheinen.
Prinzip der S. ist es, das Schallereignis mit mindestens 2 Mikrofonen aufzunehmen, die so angeordnet oder konstruiert sind, daß sie außer Frequenz und Amplitude auch Richtungsinformationen über die Schallquelle liefern, die sich in Phasenverschiebungen zwischen den einzelnen Signalen ausdrücken. Die Signale werden in voneinander unabhängigen Kanälen übertragen und am Wiedergabeort durch getrennte Lautsprecher in Schallschwingungen zurückverwandelt.
Bei *Laufzeit-S.* sind 2 oder mehr Mikrofone räumlich verteilt aufgestellt; der Stereoeffekt wird vor allem durch die unterschiedlichen Laufzeiten der Schallwellen zwischen Schallquellen und Mikrofonen verursacht. Jedes Mikrofon speist einen Übertragungskanal. Die den Kanälen zugeordneten Lautsprecher werden in ähnlicher räumlicher Verteilung wie die Mikrofone angeordnet, wodurch man bei der Wiedergabe eine Nachahmung des Schallfelds am Aufnahmeort erreicht.

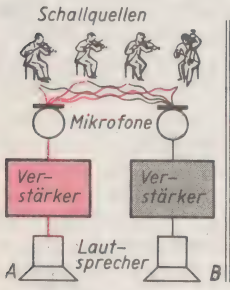


Abb. *1*: Prinzip der Laufzeitstereofonie

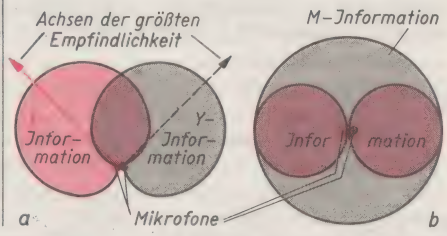


Abb. *2*: Richtdiagramme der Mikrofone bei *XY*- (*a*) und *MS*-Stereofonie (*b*)

Laufzeit-S. mit bis zu 9 Kanälen wird vor allem beim Magnettonfilmverfahren angewendet. Bei stereofoner Schallplatten- oder Rundfunkübertragung (sog. HF-S.) beschränkt man sich aus Gründen des technischen Aufwands und der ↑ Kompatibilität auf die Übertragung eines „linken" (*A*) und eines „rechten" Seitenkanals (*B*, vom Hörer aus betrachtet, Abb. *1*).
Beim *A/B-Verfahren* stehen 2 Mikrofone in großem Basisabstand, bei der *Intensitäts-S.* dagegen zusammen in der Mitte der Basis, z. B. vor der Mitte des Orchesters, und die Richtungsinformationen werden vor allem durch Form und gegenseitige Lage der Richtcharakteristiken dieser Mikrofone, d. h. durch ihre unterschiedliche Richtungsempfindlichkeit, erhalten. Die Intensitäts-S. wird gegenüber dem A/B-Verfahren bevorzugt, weil mit ihr die Kompatibilität leichter zu realisieren ist. Beim

XY-Verfahren (Abb. *2a*) sind 2 Mikrofone mit gleicher, nierenförmiger Richtcharakteristik so angeordnet, daß die Achsen ihrer größten Empfindlichkeit (wie die *X*- und *Y*-Achse eines Koordinatensystems) in der Horizontalen einen Winkel von 90° einschließen. Beim *MS-Verfahren* (Abb. *2b*) nimmt ein Mikrofon mit kreisförmiger Richtcharakteristik den Schall in üblicher Weise, d. h. ungerichtet, auf; die abgegebenen Signale bilden den *M*ittenkanal. Ein 2. Mikrofon, das eine achtförmige Richtcharakteristik hat, liefert die Richtungsinformation als *S*eitenkanal.
Bei den genannten Verfahren mit 2 Mikrofonen werden die von diesen abgegebenen NF-Spannungen so zusammengeschaltet, daß sich die Seitenkanäle *A* und *B* bzw. die Ausgangssignale für HF-S. ergeben. Bei der Wiedergabe speisen die Seitenkanäle *A* und *B* 2 getrennte, möglichst gleiche NF-Verstärker, an die wiederum getrennte Lautsprecher angeschlossen werden. Letztere stehen in Wohnräumen einige Meter voneinander, um der Basislänge am Aufnahmeort so weit wie räumlich möglich zu entsprechen.
Voraussetzung für einwandfreie stereofone Wiedergabe ist, daß beide Verstärker in ihren elektrischen Parametern völlig übereinstimmen, da jeder Verstärkungsunterschied sich für den Hörer als scheinbare Verschiebung der Schallquellen bemerkbar macht. Daher ist ein *Balanceregler* vorhanden, im einfachsten Fall ein Potentiometer, mit dem die Anlage nach ihrer Installierung so eingestellt wird, daß ein in der Basismitte erzeugter Ton auch vom Hörer aus als von dort kommend empfunden wird. Der Balanceregler braucht später nicht mehr verändert zu werden, während die Einstellung der Lautstärke in gewohnter Weise, allerdings über ein Doppel-Potentiometer (eines für jeden Verstärker) erfolgt.
Bei *Schallplatten-S.* sind die Informationen für rechten und linken Seitenkanal in Zweikomponentenschrift in die ↑ Schallplatte geschnitten und werden mit einem Stereo-↑ Tonabnehmer in die entspr. NF-Spannungen umgewandelt. Bei *Magnetband-S.* werden 2 (oder mehr) Spuren von einer entspr. Anzahl von Wiedergabeköpfen abgetastet.
Für *HF-S.* sind nur Verfahren brauchbar, die der Forderung nach ↑ Kompatibilität genügen (vgl. Pilottonverfahren).
Kopfbezogene S. (*Kunstkopf-S.*) simuliert „natürliches Hören" mit Hilfe entspr. angeordneter Mikrofone in einer an akustisch günstiger Stelle des Aufnahmeraums angebrachten Kopfnachbildung. Die Übertragung geschieht zweikanalig (für rechtes und linkes Ohr), die Wiedergabe über getrennt gespeiste Kopfhörermuscheln. Die gegenwärtig erprobte kopfbezogene S. gewährleistet hohe „Natürlichkeit" der Übertragung, ist aber mit üblichen S.verfahren nicht kompatibel.
Als *Pseudo-S.* bez. man Schaltungsmaßnahmen und Lautsprecheranordnungen, mit denen trotz monofoner Übertragung auf der Wiedergabeseite ein stereofoner Effekt vorgetäuscht wird.

Sternmodulator ↑ Modulation.

Steuerquarz: piezoelektrischer Kristall (in Halterung und Gehäuse), der als frequenzbestimmendes Bauelement in Schaltungen zur Schwingungs-

erzeugung das Einhalten hoher Frequenzkonstanz ermöglicht (vgl. Oszillator).

Steuerwerk ↑ Digitalrechenautomat.

Stielstrahler ↑ Antenne.

Stimulator ↑ Herzschrittmacher.

Störabstand: bei einer Signalübertragung Verhältnis der Signal- zur Störleistung, bezogen auf eine Stelle des Übertragungswegs, z. B. die Ausgangsklemmen (Lautsprecheranschluß) eines Empfängers. Der. S. wird meist in ↑ Dezibel angegeben. Zur einwandfreien Signalübertragung muß ein Mindest-S. vorhanden sein, der z. B. für Rundfunk-Musikübertragung 60 dB, für Funktelefonie 40 dB beträgt.

Störaustastung ↑ Störbegrenzer.

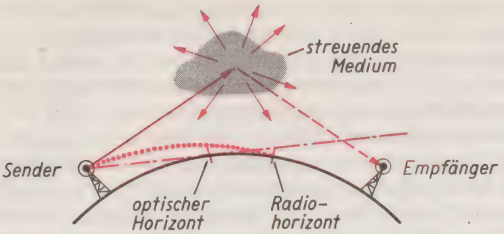
Störbegrenzer: Einrichtung zur Verbesserung des ↑ Störabstands in Nachrichtengeräten durch Begrenzen oder Unterdrücken von Störimpulsen (hervorgerufen z. B. durch atmosphärische Entladungen oder Funken in elektrischen Geräten), deren Amplituden die Signalamplituden wesentlich überschreiten. Man schließt durch Dioden mit einstellbarer Vorspannung (↑ Begrenzer) den Signalweg im Gerät für alle Spannungen kurz, die diese Vorspannung (Schwellenwert) überschreiten. Bei *Störaustastung* wird aus den Störimpulsen durch Verstärken und anschließendes Gleichrichten eine so hohe Regelspannung gewonnen, daß mit ihrer Hilfe (z. B. indem sie als negative Gitterspannung einer Elektronenröhre wirkt) eine Verstärkerstufe für die Dauer des Störimpulses gesperrt und der Signalweg kurzzeitig unterbrochen werden kann. Vgl. Regelung, getastete.

Störstellenleitung ↑ Halbleiter.

Strahlindexröhre ↑ Bildröhre.

Strahlungswiderstand ↑ Antenne.

Streuverbindung, *Scattering-Verbindung* [engl. to scatter, aus-, umherstreuen]: m- oder dm-Wellen-Funkverbindung, deren Reichweite den ↑ Radiohorizont durch Ausnutzung atmosphärischer Streuung elektromagnetischer Wellen erheblich überschreitet. Ähnlich wie Licht z. B. an Staub- oder Wasserteilchen gestreut wird, geschieht die Streuung hierbei, der größeren Wellenlänge entspr., an Unstetigkeitsstellen in der Ionosphäre oder Troposphäre. Der größte Teil der Wellen wird nach vorn, in der Hauptstrahlrichtung, gestreut, ein geringer Teil seit- und rückwärts. *Ionosphärische S.en* beruhen vor allem auf Vorwärtsstreuung durch die *D*-Schicht (↑ Ionosphäre); sie werden für Frequenzen zwischen etwa 30 und 60 MHz angewendet und überbrücken bis 2 000 km Entfernung. Die Antenne des Senders schickt einen leistungsstarken, straff gebündelten Funkstrahl unter einem solchen Winkel nach oben, daß er etwa in der Mitte der zu überbrückenden Strecke die *D*-Schicht trifft. Die Richtantenne des Empfängers wird ebenfalls auf dieses Gebiet eingestellt. Weil die Streuung u. a. frequenzabhängig und heftigen sporadischen Schwankungen unterworfen ist, sind i. allg. nur Übertragungen geringer Bandbreite (Telegrafie, Fernschreiben) möglich.



Streuverbindung

Troposphärische S.en beruhen auf der Streuung elektromagnetischer Wellen an Turbulenzstellen und Stellen wechselnder Luftdichte in der Troposphäre und sind für Frequenzen zwischen etwa 100 und 3 000 MHz in Betrieb. Die überbrückbare Entfernung beträgt einige 100 km. Troposphärische S.en werden (z. B. über Wasserstrecken) angewendet, wenn der Radiohorizont überschritten wird und keine Relaisstationen möglich sind, und übermitteln schmale und breite Frequenzbänder (u. a. auch Fernsehsendungen). Auch hier muß eine relativ hohe Sendeleistung in Richtung der Empfangsstation gebündelt werden.

Meteor-S.en nutzen die Streuung an den von den zahlreichen einfallenden Meteoriten erzeugten ionisierten „Schweifen". Durch Aussendung eines Pilottons wird die betr. Verbindungsstrecke ständig auf Meteoriteneinfall hin überwacht. Sobald ein solcher eintritt, werden die vorher gespeicherten Informationen mit hoher Geschwindigkeit übertragen (*Janet-System*).

Polarlicht-S.en beruhen auf Streuung vorwiegend an der *E*-Schicht, deren Elektronenkonzentration durch Partikelströme von der Sonne häufig erheblich ansteigt. Sie ermöglichen UKW-Verbindungen über große Entfernung gerade dann, wenn durch Korpuskularstörungen KW-Verbindungen in hohen Breiten unterbrochen sind.

Bei allen Streuerscheinungen findet auch eine Rückstreuung [engl. *backscattering*] in Richtung zum Sender statt, und zwar nicht nur im UKW-, sondern auch im KW-Bereich. Sie wird zur Erforschung der Ionosphäre ausgenutzt.

Stromtor ↑ Thyratron.

Summator und **Summenintegrator** ↑ Analogierechenautomat.

Superhet, Abk. für *Superheterodynempfänger, Überlagerungsempfänger*: Empfänger, in dem alle hochfrequenten Eingangswechselspannungen der aufzunehmenden Sender, die innerhalb eines bestimmten Frequenzbereichs (z. B. im MW- und KW-Bereich) liegen, in eine Wechselspannung mit konstanter Frequenz, der sog. *Zwischenfrequenz*, umgewandelt werden, die meist niedriger als die Sendefrequenz ist. Die ZF-Spannung wird verstärkt und dann erst demoduliert. Jeder S. setzt sich aus mindestens 4 Stufen unterschiedlicher Aufgabenstellung zusammen. Die Frequenzwandlung erfolgt durch additive oder multiplikative ↑ Mischung in der ↑ *Misch-und-Oszillator-Stufe*. Ihre Abstimmkreise,

der auf die Eingangsfrequenz f_e des zu empfangenden Senders abgestimmte *Eingangskreis* und der auf die im Empfänger erzeugte Oszillatorfrequenz f_o abgestimmte *Oszillatorkreis*, sind so bemessen und werden gemeinsam so verstellt, daß über den gesamten Abstimmbereich ein möglichst konstanter Frequenzunterschied $f_o - f_e$ erhalten wird. Als Ergebnis der Mischung treten vor allem die Frequenzen $f_o \pm f_e$ auf. $f_z = (f_o - f_e)$ ist die Frequenz der ZF-Spannung, die im *ZF-Verstärker* hoch verstärkt wird. Je niedriger f_z, desto größer ist die im ZF-Verstärker (bei gleicher Stufenzahl) erreichbare Verstärkung und desto höher die Trennschärfe; anderseits trägt eine höhere ZF dazu bei, Störungen durch ↑ Spiegelfrequenzen zu vermeiden. Für MW-Hörfunkempfänger bevorzugt man eine ZF um 460 kHz, für UKW-Empfang von 10,7 MHz, für Fernsehempfänger (Bildsignal) meist von 38,9 MHz, für Radargeräte u. a. Empfänger des Höchstfrequenzbereichs zwischen 40 und 80 MHz. Vom ZF-Verstärker gelangt die ZF-Spannung zum *Demodulator*, der

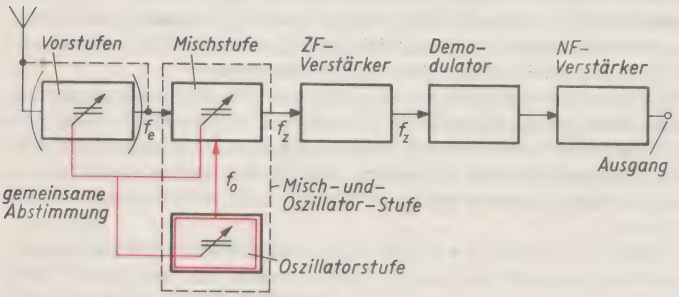


Abb. 1: Blockschema eines normalen Superhets

häufig gleichzeitig die Regelspannung für ↑ Schwundregelung und ↑ Abstimmanzeige bereitstellt. Anschließend wird das demodulierte Signal im *NF-Verstärker* zur Wiedergabe oder bei Empfängern für Funkdienste zur Weiterleitung (z. B. an eine Fernschreibmaschine oder das Drahtnachrichtennetz) nochmals verstärkt. Vorteile des S. gegenüber dem ↑ Geradeausempfänger sind vor allem:

a) Höchste Trennschärfe durch mehrere Schwingungskreise, Filter u. a. Hilfsmittel im ZF-Verstärker, die sich nur auf eine Frequenz f_z bzw. ein relativ schmales Frequenzband zu erstrecken brauchen und Konstruktion, Abgleichen sowie Bedienen des Empfängers vereinfachen. *b*) Die Frequenzumwandlung ermöglicht hohe HF-Verstärkung ohne die Gefahr der Selbsterregung parasitärer Schwingungen durch ↑ Rückkopplung, die in Geradeausempfängern die mögliche Verstärkung begrenzt. *c*) Trennschärfe und Verstärkung sind beim S. über den gesamten Abstimmbereich nahezu gleich, außerdem leicht einstell- oder regelbar.

Das Grundschema des S. wird häufig variiert und seiner jeweiligen

Aufgabenstellung angepaßt. Eine oder mehrere abgestimmte *Vorstufen* vor der Misch-und-Oszillator-Stufe (Abb. *1*) verstärken die schwachen HF-Spannungen von der Antenne, vermindern die Gefahr von Störungen durch Spiegelfrequenzen, verhindern, daß HF-Spannung des Oszillators über die Antenne ausgestrahlt wird u. a. Empfänger stört, und setzen wegen ihres gegenüber der Mischröhre geringen äquivalenten Rauschwiderstands (↑ Rauschen) das Gesamtrauschen des Empfängers wesentlich herab. Der S. für Hörfunkempfang ist meist ein *AM/FM-Empfänger*, d. h., er nimmt amplitudenmodulierte Signale im LW-, MW- und KW-Bereich, frequenzmodulierte Signale im UKW-Bereich auf. Das bedingt 2 getrennte und voneinander unabhängige Misch-und-Oszillator-Stufen sowie 2 Demodulatoren. Die verstärkenden Bauelemente des ZF-Verstärkers werden für beide Modulationsarten benutzt, jedoch auf verschiedenen ZF (s. o.). Der NF-Verstärker ist für alle Wellenbereiche gemeinsam. Häufig sind auch Abstimmanzeige, Einrichtungen zur Klang-

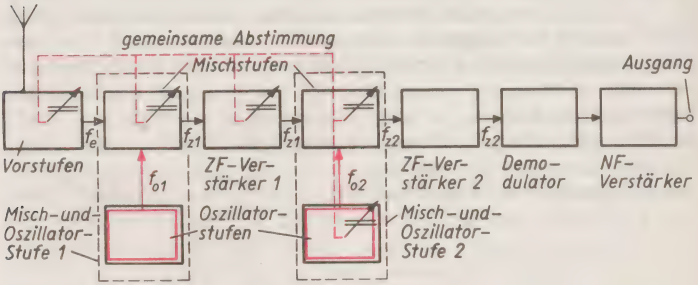


Abb. *2*: Blockschema eines Doppelsuperhets

regelung und zur Anpassung der Empfängerbandbreite an die jeweiligen Empfangsbedingungen sowie zur automatischen Scharfabstimmung im UKW-Bereich vorhanden. Da im MW-, LW- und KW-Bereich störungsfreier Empfang kaum noch möglich ist, hat man, bes. für hochwertige Musikwiedergabe, häufig S. geschaffen, die ausschl. den UKW-Bereich empfangen. ↑ Fernsehempfänger sind ebenfalls stets als S. ausgeführt. An einen S. für Funkdienste werden i. allg. bes. hohe Anforderungen in bezug auf Empfindlichkeit, Einstellgenauigkeit (vgl. Abstimmung), Störabstand und Trennschärfe gestellt. Um Verluste vor den ersten Empfängerstufen niedrig zu halten, sind Einstellglieder zur exakten Anpassung der Antenne eingebaut. Nach meist mehreren Vorstufen, deren Verstärkung teilweise (neben der Schwundregelung) auch von Hand einstellbar ist, folgt die häufig additiv arbeitende Misch-und-Oszillator-Stufe. Die ZF liegt im Bereich zwischen etwa 70 und 550 kHz und wird in mehreren Stufen verstärkt. Diese sind durch drei- oder vierkreisige Filter, sehr oft auch durch piezoelektrische oder mechanische

Filter gekoppelt. Die Bandbreite des ZF-Verstärkers ist in Stufen umschaltbar oder stetig einstellbar. Mitunter sind im NF-Verstärker zusätzliche Vorrichtungen zur ↑ *Tonselektion* vorhanden. ↑ Störbegrenzer werden häufig durch eine *Rauschsperre* ergänzt, eine selbsttätige Regeleinrichtung, die das wegen fehlender Schwundregelspannung und damit größter Verstärkung entstehende starke Rauschen des S. zwischen 2 Stationen beim Umstimmen von einer auf die andere herabdrückt. Der Demodulator ist für alle im betr. Funkdienst vorkommenden Betriebsarten eingerichtet. Er enthält einen ↑ Telegrafieüberlagerer (für ↑ Einfachzeichenempfang ausgelegt), einen ↑ Diskriminator für den Empfang von Signalen mit Frequenzumtastung (Betriebsart *F 1*) sowie Einrichtungen zur Demodulation bei Anwendung von ↑ Einseitenbandverfahren. Verbreitet bei Funkdiensten ist vor allem der *Doppel-S.*, mitunter der *Dreifach-S.*, mit zwei- bzw. dreifacher Frequenzwandlung (Abb. *2*). Eine 1. ZF f_{z1} (z. B. 3 MHz) sichert den Empfang gegen Spiegelfrequenzstörungen, während nach erneuter Frequenzwandlung eine 2. ZF f_{z2} (z. B. 70 kHz) vor allem Trennschärfe und Verstärkung erhöht. Bes. stabil arbeitet ein Doppel-S., wenn der 1. Oszillator einen Quarz als frequenzbestimmendes Element enthält und auf einer festen Frequenz schwingt, während statt dessen die 1. ZF zusammen mit den Vorstufen abgestimmt wird.

Superikonoskop, Superorthikon und **Superisokon** ↑ Bildaufnahmeröhre.

Synchronisierpegel ↑ Fernsehnorm.

Synchronsatellit ↑ Nachrichtensatellit.

T

TACAN ↑ Rho-Theta-Verfahren.

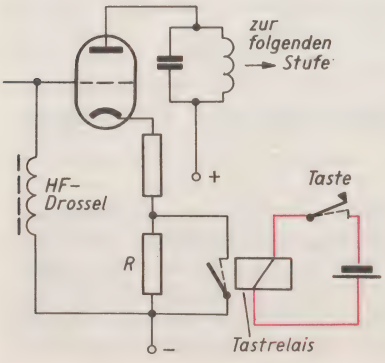
Taktgeber: i. w. S. Baugruppe, die den Arbeitstakt (z. B. Impulsfolgefrequenz) einer Anlage (z. B. EDVA, Radargerät) steuert, i. e. S. Teil einer Fernsehübertragungsanlage zum Erzeugen, Formen und Verknüpfen sämtlicher durch die ↑ Fernsehnorm vorgeschriebenen Impulse.

Wichtigste Baustufe des T. ist ein quarzstabilisierter Oszillator. Er schwingt meist auf der doppelten Horizontalablenkfrequenz (bei 625-Zeilen-CCIR-Fernsehnorm also auf 31 250 Hz). Aus seinen sinusförmigen Spannungen werden die Impulse durch Frequenzteiler, Stufen zur Impulsformung und durch Begrenzer abgeleitet. Aus Gründen der Betriebssicherheit laufen häufig 2 T. parallel, so daß bei Ausfall eines T. keine nennenswerte Übertragungsstörung eintritt. T. in vereinfachter Ausführung gehören zur Ausrüstung von Fernsehübertragungswagen und von transportablen ↑ Fernsehkameras, deren Signale drahtlos zur Weiterverarbeitung übertragen werden.

Taschenrechner: miniaturisiertes elektronisches Gerät für häufig nötige, relativ einfache Berechnungen. Hauptbestandteil des T. ist meist ein integrierter Groß-Schaltkreis zur Durchführung der arithmetischen Operationen. Daten und Rechenbefehle werden über Tasten eingegeben, die Resultate optisch, z. B. durch Leuchtdioden oder ↑ Flüssigkristallanzeigeelemente, ausgegeben. „Verbotene" Operationen (z. B. Division durch 0) und Absinken der Betriebsspannung werden häufig bes. angezeigt (z. B. Flackern eines Ausgabeelements). Die Stromversorgung übernehmen eingebaute Batterien oder bzw. und ein Netzanschlußteil. Neben T., die im wesentlichen die 4 arithmetischen Grundoperationen ausführen, gibt es T. für alle mit einem Rechenschieber zu bewältigenden Operationen (z. B. Potenzieren, Radizieren, Logarithmieren, Berechnung von Winkel- und Hyperbelfunktionen usw.).

Tastung: Unterbrechen oder Verändern der Strahlung eines Senders in einem der Signalübertragung dienenden Rhythmus (z. B. Übertragen von Morse- oder Fernschreibzeichen). Bei *tonloser T.* (Betriebsart *A 1*) wird die Ausstrahlung der HF-Leistung im Signalrhythmus unterbrochen, bei *tönender T.* (Betriebsart *A 2*) ein modulierender Ton getastet. Bei ↑ Frequenzumtastung wechselt die Sendefrequenz im Signalrhythmus um einen geringen Betrag.

Die T. kann prinzipiell in allen Senderstufen vorgenommen werden, z. B. durch Unterbrechen einer Speisespannung oder durch Anlegen einer Sperrspannung an eine Steuerelektrode eines verstärkenden Bauelements. Bevorzugt werden Methoden der T. auf niedrigem Spannungs- bzw. Leistungsniveau, z. B. die *Gitter-T.* der Abb.: Bei geöffneter Taste erhält das Steuergitter eine so hohe negative Spannung gegenüber der Katode, daß kein Anodenstrom fließt, während bei Betätigen der Taste ein *Tastrelais* (das u. a. die Fern-T. eines Senders ermöglicht) den Widerstand *R* kurzschließt und damit die negative Spannung teilweise aufhebt. Die Breite des für Telegrafie-T. benötigten Kanals hängt von der Telegrafiergeschwindigkeit, der Modulationsfrequenz (bei *A-2*-Betrieb) und

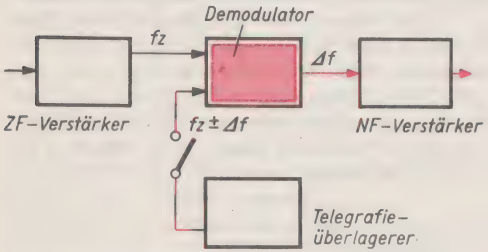


Gittertastung

der Zeichenform ab. Je mehr diese der Rechteckform nahekommt, desto mehr und weiter von der Trägerfrequenz abliegende Seitenfrequenzen werden gebildet (sog. „harte" T.). Sie stören in der Nähe befindliche Empfänger anderer Funkdienste. Man wendet daher stets die mit geringerer Kanalbreite auskommende sog. „weiche" T. an, bei der durch bes. Tastschaltungen (im einfachsten Fall durch ein parallel zum Tastkontakt liegendes Widerstands-Kondensator-Glied) die scharfen „Kanten" der Zeichen abgerundet werden.

TED-System ↑ Bildplatte.

Telegrafieüberlagerer: in Telegrafieempfängern enthaltener Baustein zum Hörbarmachen in der Betriebsart *A 1* getasteter Telegrafiezeichen. Der T. ist ein Oszillator (zum Unterschied gegenüber dem zum Gewinnen der ZF im Superhet nötigen Oszillator auch *2. Oszillator* genannt), dessen Frequenz von der ZF f_Z um einen kleinen, festen oder veränderbaren Betrag Δf (z. B. 0,8 bis 1,2 kHz) abweicht. Die Ausgangsspannung des T., $f_Z \pm \Delta f$, wird dem Demodulator zugeführt, an dessen Ausgang durch die in ihm vor sich gehende Überlagerung der ZF-Spannung f_Z mit $(f_Z + \Delta f)$ und Gleichrichtung eine Tonfrequenzspannung mit der Frequenz Δf entsteht, die dem NF-Verstärker zugeleitet wird. Ist die Frequenz der Ausgangsspannung des T. veränderbar, so ändert sich Δf, und es kann ein dem Ohr angenehmer Ton eingestellt werden, ohne die optimale Empfängerabstimmung zu verändern. Beim Empfang tonmodulierter Sendungen (z. B. Telefonie) wird der T. abgeschaltet.



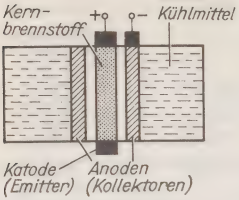
Blockschema eines Telegrafieüberlagerers

Tetradenverschlüsselung: **1.** ↑ Digitalrechenautomat. — **2.** ↑ Zählschaltung.

Tetrode ↑ Elektronenröhre.

TFT ↑ Transistor 2.

thermionischer Konverter, *thermionischer Wandler*: nach dem Prinzip der Hochvakuum-Diode arbeitendes Aggregat zur Umwandlung von Wärmeenergie in elektrische Energie. Die in einem evakuierten Kolben untergebrachte, hocherhitzte Katode (bis >2000 °C), auch *Emitter* genannt, emittiert Elektronen. Sie erreichen aufgrund ihrer kinetischen Energie eine durch Kühlung auf niedrigerer Temperatur gehaltene Anode (*Kol-*

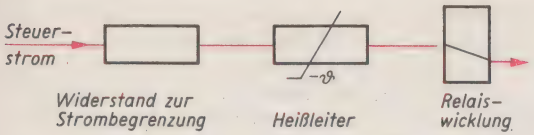


Verbindung Brennstoffelement – thermionischer Konverter

lektor) dicht vor der Katode und fließen in einem äußeren Stromkreis zur Katode zurück. Die Spannung zwischen Katode und Anode (Anode negativ gegen Katode) liegt bei 1 V und hängt von der Differenz der Austrittsarbeiten des Emitter- und des Kollektorwerkstoffs ab. Der Einfluß der zwischen Katode und Anode entstehenden Raumladung muß gering gehalten werden, da sonst zu wenige Elektronen die Anode erreichen. Das geschieht z. B. durch Einbringen von Zäsiumdampf in den Kolben; die Zäsiumatome werden ionisiert und kompensieren als positive Ionen die Raumladung.

Mit t. K. wurden bereits Ströme von mehreren 100 A erzielt; der theoretische Wirkungsgrad der Energieumwandlung liegt bei $>30\,\%$. Die künftige Bedeutung wird wahrscheinlich vor allem in den Verbindungen zwischen Kernreaktor – t. K. (*Thermionikreaktor*) bzw. Kernbrennstoffelemente – t. K. liegen, bei der die Reaktorbrennstoffstäbe gleichzeitig Katoden des Konverters sind. Damit könnten sie langlebige Energiequellen für automatisch arbeitende, schwer zugängliche elektronische Anlagen (Wetterbeobachtungsstationen, Funkfeuer u. a.) und für die Raumfahrt darstellen.

Thermistor [von engl. *therm*ally sensitive res*istor*, temperaturempfindlicher Widerstand]: stark temperaturabhängiger Widerstand aus halbleitenden Metalloxiden mit entweder negativem (*Heißleiter*, NTC-Widerstand [von engl. *N*egative *T*emperature *C*oeffizient Resistor]) oder positivem Temperaturkoeffizienten (*Kaltleiter*, PTC-Widerstand [von engl. *P*ositive *T*emperature *C*oeffizient Resistor]), z. B. aus einer Mischung von Magnesium- und Titanoxid für Heißleiter bzw. aus Bariumtitanat mit Antimonzusatz für Kaltleiter. Der spezifische Widerstand von Heißleitern vermindert sich, im Unterschied zu demjenigen metallischer Leiter, mit zunehmender Temperatur aufgrund wachsender Eigenleitung, unabhängig davon, ob der Heißleiter von außen (Fremderwärmung) oder durch einen hindurchfließenden Strom (Eigenerwärmung) erwärmt wird (Widerstandsabnahme 3 bis 6 %/grd). Fremderwärmte Heißleiter werden vor allem als Temperaturfühler – mitunter in nur stecknadelkopfgroßer Ausführung – für Meßaufgaben (für Temperatur-, Strahlungs- und Leistungsmessungen im Höchstfrequenzbereich) eingesetzt. Eigenerwärmte Heißleiter können, mit einem Ohmschen Widerstand hintereinandergeschaltet, dessen Widerstandszunahme bei Erwärmung kompensieren. Sie sind wegen ihres hohen Kaltwiderstands ferner geeignet, in Stromkreisen

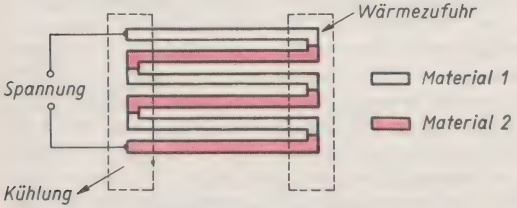


Thermistor: Verzögertes Einschalten eines Relais durch einen Heißleiter

Einschaltstromstöße abzufangen, und können z. B. bei Reihenschaltung mit einem Relais bei Erreichen einer bestimmten, durch die Widerstandsabnahme festgelegten Stromstärke eine Einschaltverzögerung auslösen.

Der spezifische Widerstand von Kaltleitern nimmt, wie der von metallischen Leitern, mit der Temperatur je nach Widerstandstyp 6 bis 60 %/grd zu, in einem von der stofflichen Zusammensetzung abhängigen eng begrenzten Temperaturbereich sogar fast sprunghaft bis zum 10^4fachen des Anfangwerts und darüber. Ursache sind innere Strukturveränderungen des halbleitenden ferroelektrischen Materials, die in der Nähe der Curietemperatur auftreten. Kaltleiter werden meist mit Eigenerwärmung betrieben. Man setzt sie für Temperaturmessungen sowie in Steuerungs- und Regelungsanlagen als Temperaturfühler ein. Sie ermöglichen z. B. den einfachen Aufbau von Schutzschaltungen gegen thermische oder elektrische Überlastung von Bauelementen und Geräten: So löst ein durch eine Transformatorwicklung o. a. erwärmter Kaltleiter bei vorgegebener Temperatur eine Signal- oder Schaltvorrichtung aus oder er schaltet ein Bauelement oder Gerät, von dessen Betriebsstrom er durchflossen wird, ab, wenn die Eigenerwärmung durch unzulässiges Anwachsen der Stromstärke zu groß wird.

Thermoelement: Gleichstromquelle auf der Grundlage des von *Thomas Johann Seebeck* entdeckten Effekts: An beiden Verbindungsstellen einer Schleife aus 2 verschiedenen Leitern tritt jeweils eine elektrische Spannung auf. Die Differenz dieser Einzelspannungen, die *Thermospannung*, läßt Strom in der Leiterschleife fließen, wenn beide Verbindungsstellen verschiedene Temperatur haben. Die Thermospannung wird erst zugänglich, wenn eine Verbindungsstelle aufgetrennt wird, und hängt von den Leiterwerkstoffen, ihrer Reinheit sowie von der Temperaturdifferenz

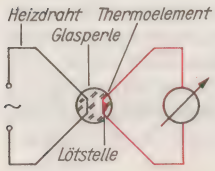


Reihenschaltung mehrerer Thermoelemente

zwischen dem „heißen" und „kalten" Leiterende ab. Bei der Verbindung von Metallen (z. B. Eisen/Konstantan) ist die Thermospannung sehr klein (etwa 10^{-6}V/grd); der Wirkungsgrad der Umwandlung von Wärme in elektrische Energie liegt bei 0,1 %. T. wurden daher zunächst nur als Temperaturfühler benutzt. Durch die Verwendung von Halbleiterwerkstoffen für T. (z. B. Indium-Antimon- und Blei-Tellur-Verbindungen) gelang es, die Thermospannung auf 0,5 mV/grd und den Wirkungsgrad auf fast 10 % zu steigern, so daß zu Batterien zusammengeschaltete T. für die direkte Umwandlung von Wärme- in elektrische Energie sinnvoll wurden. Man entwickelte *thermoelektrische Generatoren* (Heizung mit Propan, Erdgas, Erdöl o. a.) zur Speisung von elektronischen und Nachrichtengeräten und führt aussichtsreiche Versuche durch, die in Kernreaktoren freiwerdende Wärme zur direkten Elektroenergieerzeugung anzuwenden.

Thermokompression ↑ Halbleitertechnologie.

Thermoumformer: technische Anordnung für Wechselstrommessungen bis zu hohen Frequenzen. Der zu messende Wechselstrom durchfließt einen (mitunter bandförmigen) Heizdraht, der unmittelbar oder innerhalb



Thermoumformer

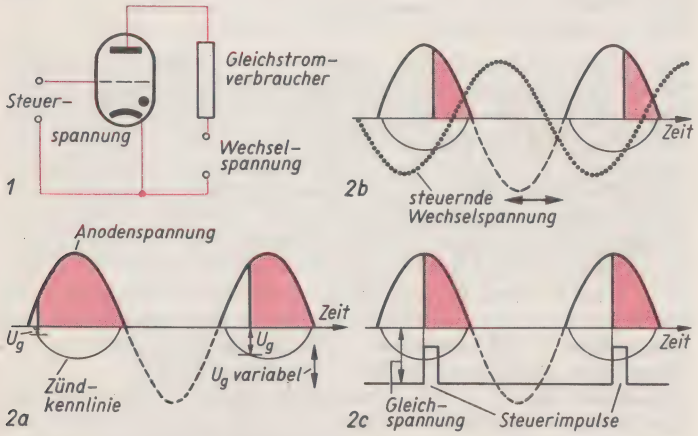
einer isolierenden Glasperle die Lötstelle eines Thermoelements erwärmt. Dessen Thermospannung läßt Gleichstrom durch ein Drehspulinstrument fließen. Es wird stets der Effektivwert des Wechselstroms, unabhängig von der Kurvenform, gemessen. Ströme von wenigen Milliampere sind mit einfachen T. der beschriebenen Art meßbar; eine bedeutende Steigerung der Empfindlichkeit ist durch Verwendung eines Spiegelgalvanometers statt eines Drehspulinstruments möglich. Um Wärmeverluste durch Konvektion zu vermeiden, wird der T. auch oft in ein Vakuumgefäß eingeschlossen. Eigenkapazität und -induktivität des T. sind sehr niedrig. Er ist daher in weitem Bereich nahezu frequenzunabhängig und bes. für die Messung von HF-Strömen geeignet. Mit 2 zu einer Brückenschaltung kombinierten T. sind unmittelbare Leistungsmessungen möglich.

Thomsonsche Schwingungsgleichung ↑ Schwingungskreis.

Thyratron *n, Stromtor*: ↑ Gasentladungsröhre, deren Verhalten durch die Schaltzustände „gezündet" (stromleitend) und „gelöscht" (stromsperrend) gekennzeichnet ist, also wie ein zu öffnendes und zu schließendes Tor wirkt. Das T. enthält eine Anode, eine direkt oder indirekt geheizte Katode und (mindestens) ein Steuergitter, das jedoch nach dem Zünden seine Steuerwirkung verliert. Um den Schaltzustand „gelöscht" her-

beizuführen, muß die Anodenspannung des T. unterbrochen bzw. unter die Brennspannung (etwa 10 V) gesenkt werden. Die Zündspannung des T. hängt von der Anodenspannung und der Spannung zwischen Steuergitter und Katode ab (Steuergitter meist negativ gegen Katode). Strom fließt nur bei gegenüber der Katode positiver Anode durch das T., bei Wechselspannung zwischen Anode und Katode also während der positiven Halbwellen. Das T. arbeitet als Gleichrichter (Abb. *1*). Stromstärke und Leistung lassen sich über die Zündspannung, deren Höhe von der Steuergitterspannung abhängt, steuern. Bei niedriger Zündspannung ist das T. während des größten Teils der positiven Halbwellen stromführend, die mittlere Stromstärke im Anodenkreis groß; bei hoher Zündspannung wird ein entspr. Teil der positiven Halbwellen unterdrückt, die mittlere Stromstärke im Anodenkreis ist niedrig.

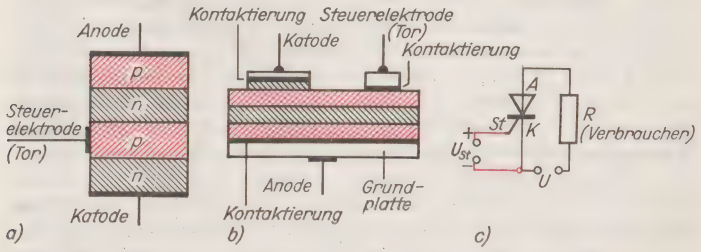
Die sog. *Zündkennlinie* zeigt die Abhängigkeit der Zündspannung von der Spannung Steuergitter–Katode, aufgetragen über der Zeit. Wird z. B. (Abb. *2a, Vertikalsteuerung*) eine variable Gleichspannung U_g zwischen Gitter und Katode gelegt, so kann im Maximalfall die vordere Hälfte der positiven Halbwellen unterdrückt werden. Wird (Abb. *2b, Horizontalsteuerung*) zwischen Gitter und Katode eine gegenüber der Anodenspannung in der Phase verschiebbare Wechselspannung gelegt, so läßt sich das T. an jedem Punkt der positiven Halbwelle zünden, die Stromstärke also zwischen Null und einem Maximalwert einstellen. Dasselbe ist auch (Abb. *2c, Impulssteuerung*) durch verschiebbare Impulse zu erreichen, die einer Gleichsspannung zwischen Gitter und Katode überlagert werden.



Thyratron, Abb. *1*: Grundschaltung
Thyratron, Abb. *2*: Steuermöglichkeiten; *weiße* Kurvenfläche: kein Anodenstrom; *rote* Kurvenfläche: Anodenstrom fließt

Die mit dem T. steuerbare Leistung erstreckt sich von wenigen Watt bis zu >75 MW für kurze Leistungsimpulse. Das T. dient in der industriellen Elektronik z. B. für die Regelung von Motordrehzahlen, Beleuchtung und Wärme und zur Gewinnung leistungsstarker Impulse (z. B. für Radaranlagen). Sonderformen des T. enthalten 2 Gitter und zünden, je nach Schaltung, wenn ein Steuerimpuls eines der Gitter erreicht, oder nur, wenn an beiden Gittern gleichzeitig Steuerimpulse auftreten. Auch wurden T. entwickelt, die durch positive Spannungsimpulse zwischen Steuergitter und Katode gezündet, durch negative gelöscht werden können. Durch Einsatz leistungsfähiger ↑ Thyristoren verliert das T. zunehmend an Bedeutung.

Thyristor [zusammengezogen aus *Thyr*atron und Trans*istor*] *m*: gleichrichtendes und steuerbares Halbleiterbauelement auf Siliziumbasis mit gleicher Folge der Gebiete verschiedenen Leitfähigkeitstypus (*pnpn*) wie eine Vierschichtdiode (↑ Diode 2.), aber einer zusätzlichen Steuerelektrode (*Tor* oder auch engl. *Gate*) am inneren *p*-Gebiet. Das äußere *p*-Gebiet wird als Anode, das äußere *n*-Gebiet häufig als Katode bez. Bei normaler Betriebsspannung *U* sperrt der T. (von einem geringen Sperrstrom abgesehen) den Stromfluß zunächst in beiden Richtungen. Wird bei gegenüber der Katode positiver Anode eine Steuerspannung U_{st} so an die Steuerelektrode gelegt, daß diese gegenüber der Katode positiv ist, fließt über den der Katode nächstgelegenen *pn*-Übergang ein (verhältnismäßig geringer) Strom. Durch die damit verbundene Injektion von Ladungsträgern verliert der mittlere *pn*-Übergang seine Sperrwirkung. Der T. „zündet", wird leitend, sein Innenwiderstand sinkt stark ab. Gleichzeitig



Thyristor: Folge der Leitfähigkeitsgebiete (a), Aufbauschema (*b*) und Grundschaltung (*c*)

wird die Steuerelektrode wirkungslos. Um den Stromfluß zu unterbrechen und den T. zu „löschen", muß im Verbraucherstromkreis ein bestimmter Haltestrom unterschritten werden (z. B. durch kurzzeitiges Unterbrechen der Spannung *U*). Daraufhin kann der T. mit der Steuerelektrode erneut gezündet werden. Dieses Verhalten ähnelt weitgehend dem eines ↑ Thyratrons.

Die Steuerung des T. erfolgt nach gleichen Verfahren wie die des ↑ Thyratrons; Impulssteuerung wird bevorzugt. – T.en mit geeigneter Kühlung (Luftstrom, Wasser) verarbeiten gegenwärtig Ströme bis 4 kA, wobei in Sperrichtung Spannungen bis >2 kV zulässig sind. Die Steuerleistung beträgt max. einige Watt. Gegenüber dem Thyratron zeichnet sich der T. durch hohen Wirkungsgrad und damit geringere Entwicklung von Verlustwärme, kleine Abmessungen, Robustheit und höhere Schaltgeschwindigkeit sowie durch Wegfall der Heizung aus. T. werden nicht nur in Stromrichteranlagen bis zu höchsten Leistungen, zur Frequenzwandlung und stufenlosen Drehzahlsteuerung und -regelung von Elektromotoren in Produktion, Verkehrswesen usw. angewendet, sondern haben auch Verbreitung zur Steuerung und Regelung von Kleinmotoren (Handwerkszeuge, Haushaltgeräte usw.) gefunden.

Der *Foto-T.* zündet, wenn Licht durch eine dafür vorgesehene Öffnung auf den gesperrten *pn*-Übergang trifft und Ladungsträgerpaare erzeugt. Meist kann er außerdem über eine Steuerelektrode gezündet werden. – *Zweiweg-T.* ↑ TRIAC.

Tiefenanhebung ↑ Klangregelung.

Tiefenschrift ↑ Schallplatte.

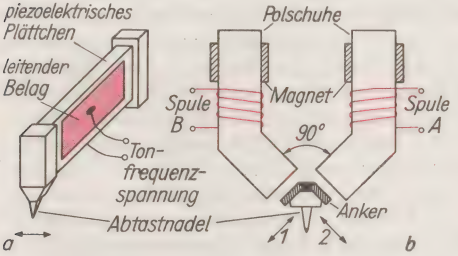
Time sharing ↑ Zeitteilverfahren.

Tonabnehmer, *Schallplattenabtaster*: mechanisch-elektrischer Wandler, mit dem die von seiner Diamant- oder Saphir-„Nadel" abgetasteten Auslenkungen der Schallrille in NF- (Tonfrequenz-) Spannungen umgesetzt werden. Die Umwandlung geschieht meist durch Ausnutzung des piezoelektrischen Effekts oder der elektromagnetischen Induktion. Der *piezoelektrische T.* beruht auf dem gleichen Prinzip wie das piezoelektrische ↑ Mikrofon, wenn man sich die von Schallschwingungen in Bewegung versetzte Membran durch die in der Schallrille geführte Abtastnadel ersetzt denkt (Abb. a). Die Wandlerelemente sind aus Seignettesalz-Kristall (*Kristall-T.*) oder aus einer gesinterten und gebrannten piezokeramischen Masse, z. B. Bariumtitanat, hergestellt. Die Ausgangsspannung wird an leitenden Belägen auf dem piezoelektrischen Plättchen abgenommen; sie hängt von den Auslenkamplituden ab und erreicht Werte bis nahe 3 V.

T. auf der Grundlage der elektromagnetischen Induktion werden als magnetische und dynamische T. hergestellt. Im *magnetischen T.* wird ein mit der Abtastnadel verbundener ferromagnetischer Anker im Feld eines Permanentmagneten bewegt und in Spulen auf dessen Schenkeln oder Polschuhen die Tonfrequenzspannung induziert. Bei anderen Ausführungen wird statt des Ankers ein kleiner, mit der Abtastnadel verbundener Permanentmagnet bewegt. Die Ausgangsspannung eines auf elektromagnetischer Induktion beruhenden T. hängt von der *Schnelle*, d. h. der Änderungsgeschwindigkeit der Anker- bzw. Permanentmagnetbewegung, ab. Da ↑ Schallplatten nicht mit konstanter Schnelle geschnitten werden, ergäben sich bei der Wiedergabe Verzerrungen; man kompensiert sie durch frequenzabhängige Glieder im Wiedergabeverstärker. Die

Ausgangsspannung magnetischer T. beträgt nur bis 50 mV, doch sind sie dem piezoelektrischen T. in der Wiedergabequalität überlegen und werden deshalb vor allem in hochwertigen Übertragungsanlagen verwendet. Der *dynamische T.* beruht auf dem Prinzip des dynamischen ↑ Mikrofons; eine im Feld eines Permanentmagneten bewegte Spule, in der die Tonfrequenzspannung induziert wird, ist mit der Abtastnadel verbunden. Dynamische T. haben eine bes. gute Wiedergabequalität bei einer Ausgangsspannung von wenigen Millivolt und erfordern daher eine hohe Verstärkung der Tonfrequenzspannung. Sie werden ausschl. für Studiozwecke eingesetzt.

In jüngster Zeit arbeitet man an der Entwicklung von T., die nicht als Spannungsquelle wirken, sondern lediglich einen Strom steuern und dadurch eine verhältnismäßig große Ausgangsleistung aufweisen können. In T. *auf fotoelektrischer Grundlage* wird das von einem Lämpchen auf einen Fototransistor oder eine -diode fallende Licht durch eine mit der Abtastnadel verbundene Schlitzblende gesteuert. *T. auf Halbleiterbasis* gehen davon aus, daß z. B. dünne Siliziumstreifen unter dem Einfluß mechanischer Deformationen Widerstandsänderungen erfahren, die zur Steuerung eines Stroms genutzt werden können.



Piezoelektrischer Tonabnehmer (a) und magnetischer Stereo-Tonabnehmer (*b*)

Bei der Abtastung von Schallplatten für monofone Wiedergabe bewegt sich die Abtastnadel parallel zur Plattenoberfläche. Bei stereofoner und quadrofoner Wiedergabe muß sie dagegen Bewegungen in 2 zueinander senkrechten, gegenüber der Plattenoberfläche um 45° geneigten Ebenen (vgl. Abb. bei Schallplatte) ausführen, wobei jede Bewegungskomponente die Tonfrequenzspannung eines der beiden Stereokanäle liefert. Stereo-T. arbeiten prinzipiell ebenso wie T. für monofone Wiedergabe. In *magnetischen Stereo-T.* (Abb. *b*) beeinflußt ein Anker 2 Magnetsysteme. Bewegt er sich in Richtung *1*, so wird Spannung in der Spule *A* induziert, in Spule *B* hingegen nicht, da der Abstand Anker – Magnet für Spule *B* unverändert bleibt. Bei Bewegung in Richtung *2* ergeben sich umgekehrte Verhältnisse; bei gleichzeitiger Bewegung in beiden Richtungen entsteht in jeder Spule eine der zugehörigen Bewegungskomponente entspr. Spannung. Bei *piezoelektrischen Stereo-T.* treten 2 piezoelektrische, unter 90° zueinander angeordnete Wandler an die Stelle der Spulen.

Tonfrequenzgenerator: Wechselspannungsquelle für die Schwingungserzeugung im NF-(Tonfrequenz-)Bereich. T.en für Prüf- und Meßzwecke sollen meist sinusförmige Spannungen bestimmter fester oder stetig wählbarer Frequenz mit einstellbarer Amplitude abgeben. Sie werden als ↑ Oszillatoren mit Schwingungskreisen oder als RC-Oszillatoren ausgeführt. T.en, die zur Schwingungserzeugung Schwebungen ausnutzen, enthalten 2 HF-Oszillatoren, deren einer auf einer festen Frequenz schwingt, während der zweite stetig abstimmbar ist. Durch ↑ Demodulation erhält man eine Wechselspannung mit einer Frequenz, die gleich der Frequenzdifferenz der beiden Ausgangsschwingungen ist und bei entspr. Einstellung des durchstimmbaren Oszillators im Tonfrequenzbereich liegt.

T.en werden in der Meßtechnik (z. B. Prüfung von Verstärkern und Lautsprechern), zum Erzeugen von Signalfrequenzspannungen (z. B. Modulation von Sendern nach Betriebsart *A 2*) und als Grundelemente elektronischer ↑ Musikinstrumente verwendet.

Tonsäule ↑ Lautsprecher.

Tonselektion: schaltungstechnische Maßnahmen im NF-Teil eines Empfängers, mit deren Hilfe ein schmaler Ausschnitt des vom Verstärker übertragenen Tonfrequenzbandes bes. verstärkt oder unterdrückt werden kann. T. wird z. B. erreicht (vgl. Selektivrufeinrichtung) durch einen im Signalweg liegenden, auf die zu verstärkende Frequenz abgestimmten Parallel-Schwingungskreis oder durch einen auf die zu unterdrückende Frequenz abgestimmten Serien-Schwingungskreis, wobei in beiden Fällen die Frequenzwahl durch Einschalten von Kondensatoren verschiedener Kapazität geschieht. Durch zusätzliche ↑ Rückkopplung läßt sich das übertragene Frequenzband weiter einengen. Bei größerem Aufwand kann durch Rückkopplung bzw. ↑ Phasenschieber ein einstellbares, sehr schmales Frequenzband nach Wunsch hervorgehoben oder unterdrückt werden. Derartige Anordnungen zur T. haben unter der Bez. *Selectoject* [Abk. für engl. *Select*ive Amplification *o*r Re*ject*ion, selektive Verstärkung oder Unterdrückung] Bedeutung erlangt.

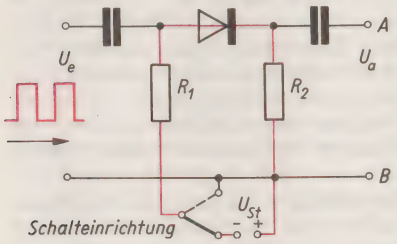
T. wird u. a. angewendet zum Anheben von Telegrafiezeichen gegenüber Störern in einfachen Funkempfängern und zur Trennung bestimmter Tonfrequenzen in Empfängern für die Funkfernsteuerung. Zu den Mitteln der T. zählt auch die sog. *9-kHz-Sperre* in älteren Rundfunkempfängern, ein ↑ Saugkreis, mit dessen Hilfe der 9-kHz-Interferenzton geschwächt wird; dieser tritt auf, wenn ein vom eingestellten Sender um 9 kHz unterschiedener starker Sender infolge zu geringer Trennschärfe des Empfängers „durchschlägt" (da 9 kHz der international vereinbarte Frequenzabstand von MW-Rundfunksendern ist, tritt 9-kHz-Ton bes. oft auf).

Tontreppe ↑ Fernsehempfänger.

Topfkreis: vom koaxialen ↑ Leitungskreis abgeleiteter ↑ Schwingungskreis sehr hoher Güte für den dm-Wellenbereich, bestehend aus einem geschlossenen, zylindrischen Außenleiter („Topf") und einem Innenleiter, der an einem Ende mit dem Außenleiter verbunden ist. Die Länge

des Außenleiters beträgt z. B. $\lambda/4$, wenn λ die Wellenlänge der im T. erregten Schwingungen ist. Ein- und Auskoppeln der HF-Schwingungen können galvanisch (direkter Anschluß an Innenleiter), kapazitiv (leitende Fläche nahe dem Innenleiter) und induktiv (in den T. ragende, mit dem Außenleiter verbundene Kopplungsschleife) erfolgen. T. sind häufig so gestaltet, daß eine unmittelbare Verbindung mit den Anschlüssen aktiver Bauelemente, z. B. den Elektroden von ↑ Scheibentrioden, möglich ist. T. werden vor allem in Funk- und Radargeräten verwendet.

Torschaltung: Schaltung, durch die mittels einer meist rechteckförmigen Steuerspannung ein oder mehrere Signalwege freigegeben bzw. gesperrt werden können. In der Abb. wird die Steuerspannung U_{st} so angelegt, daß die Diode sperrt. Ein Eingangssignal U_e, dessen Amplitude $< U_{st}$ ist, hebt die Steuerspannung nicht auf. Der Signalweg bleibt gesperrt, d. h., das Signal gelangt nicht zum Ausgang. Wird die Steuerspannung dagegen abgeschaltet, so durchläuft das Signal die Diodenstrecke und kann zwischen den Punkten *A* und *B* abgenommen werden. Das Zu- bzw. Abschalten der Steuerspannung geschieht meist mit einer elektronischen Schalteinrichtung, z. B. einem ↑ Multivibrator, einer logischen Schaltung oder einem Zeitgeber. T.en werden vor allem zur Steuerung von Signalwegen in Anlagen der EDV, in der BMSR-Technik und in der Meßtechnik (z. B. zum Abzählen innerhalb einer bestimmten Zeitspanne eintreffender Impulse) angewendet.



Torschaltung mit Diode

tote Zone ↑ Wellenausbreitung.

Träger, -frequenz und **-schwingung** ↑ Modulation.

Trägerfrequenztechnik: Verfahren und Geräte, mit deren Hilfe über einen Übertragungsweg (Draht- oder Kabelleitung, Richtfunkstrecke, Nachrichtensatellitenverbindung) gleichzeitig und voneinander unabhängig zahlreiche Nachrichten, vor allem Ferngespräche, übertragen werden können. Die Möglichkeit hierfür folgt daraus, daß ein Übertragungsweg i. allg. ein Frequenzband übertragen kann, das die Breite eines Gesprächskanals weit übertrifft. In der T. werden nun die zu übertragenden einzelnen Gesprächskanäle frequenzmäßig so umgesetzt, daß sie sich zu einem hochfrequenten, die gesamte Breite des Übertragungswegs nutzenden Frequenzband zusammenfügen. Am Ende des Übertragungswegs wird dieses Band nach Rückgängigmachen der Frequenzumsetzung

wieder in die einzelnen Gesprächskanäle aufgeteilt. *Frequenzumsetzer* am Anfang und am Ende der Übertragungsstrecke sind daher die entscheidenden Einrichtungen der T.

In dem Umsetzer am Streckenanfang werden aus einem quarzstabilisierten HF-Oszillator durch Frequenzvervielfachung zahlreiche Trägerfrequenzspannungen abgeleitet, deren Frequenzabstand international zu 4 kHz festgelegt wurde, wovon aber nur die Frequenzen 0,3 bis 3,4 kHz zur Übertragung der Sprachsignale dienen; daher sind alle Trägerfrequenzen ganzzahlige Vielfache von 4 kHz (z. B. 108... 112... 116 kHz). Trägerfrequenz- und Tonfrequenzspannung je eines Gesprächskanals werden einem Ringmodulator zugeführt. An seinem Ausgang erscheinen nur die der mit den Sprachfrequenzen modulierten Trägerfrequenz entspr. Seitenbänder, die Trägerfrequenz selbst wird unterdrückt. Da zur Übertragung des Nachrichteninhalts ein Seitenband genügt (vgl. Modulation), wird anschließend ein Seitenband ausgefiltert. Die einzelnen, nunmehr frequenzmäßig nebeneinanderliegenden Seitenbänder werden gemeinsam verstärkt und dem Übertragungsweg zugeleitet. Bei diesem einfachen „Nebeneinanderlegen" zahlreicher Gesprächskanäle wäre deren gegenseitige Beeinflussung nur durch unverhältnismäßig hohen Aufwand bei den Filtern zu unterdrücken. Deshalb wendet man eine mehrfache Frequenzumsetzung an. Jeweils eine geringe Kanalanzahl wird zu einer *Vorgruppe* umgesetzt; mehrere Vorgruppen bilden durch erneute Frequenzumsetzung eine *Grundgruppe*; häufig werden mehrere Grundgruppen nochmals zu einer *Übergruppe* zusammengefaßt.

Im Frequenzumsetzer am Ende des Übertragungswegs laufen diese Vorgänge durch stufenweise Demodulation in umgekehrter Reihenfolge ab. Dabei muß die zugehörige Trägerfrequenz wieder zugesetzt werden. Sie wird vom gleichen Oszillator bezogen, der in dieser Endstelle für die Modulation der „abgehenden" Trägerfrequenzen, d. h. in Senderichtung benötigt wird.

Die T. wird zur gleichzeitigen Übermittlung von z. B. 12, 60, 120, 960 und 2 700 Ferngesprächen angewendet. (Diese international vereinbarten Zahlen sind eine Folge der Frequenzvervielfachung und der Gruppenbildung.) Während geringe Kanalzahlen (z. B. 12) über normale Freileitungen oder Fernsprechkabel geleitet werden können, benutzt man für höhere Kanalzahlen Übertragungswege, die den Anforderungen der T. bes. angepaßt sind. Hierzu zählen insbes. die ↑ Koaxialkabel, deren obere Frequenzgrenze bis 12 MHz hinausgeschoben werden kann (Übertragung von 2 700 Kanälen). Kanalzahlen um 10^5 wären durch Hohlleiterkabel erreichbar, die gegenwärtig Gegenstand der Forschung und Erprobung sind. Zum Ausgleich der Dämpfung auf Kabelübertragungsstrecken werden als *Zwischenverstärker* Breitbandverstärker eingeschaltet. Ihr Abstand muß umso geringer sein, je breiter das Übertragungsband, d. h. je größer die Kanalzahl, ist, und beträgt z. B. bei Systemen für 2 700 Gesprächskanäle nur 3 bis 4,5 km. Ältere Anlagen der T. sind mit Spezialverstärkerröhren bestückt, moderne durchweg mit Halbleiterbauele-

menten. Halbleiterbestückte Verstärker werden im Verlauf der Kabeltrasse mit eingegraben und von den Endstellen des Übertragungswegs aus, bei Koaxialkabeln z. B. über die Innenleiter, mit Strom versorgt. Dämpfungsschwankungen werden durch selbsttätige Verstärkungsregelung in den Zwischenverstärkern ausgeglichen; man schickt z. B. eine oberhalb des Übertragungsbereiches liegende *Pilotfrequenz* in Form einer konstanten Wechselspannung über die Übertragungsstrecke, aus deren Dämpfung eine Regelspannung abgeleitet wird.

Transceiver [aus engl. *Trans*mitter/Re*ceiver*, Sender/Empfänger]: kombiniertes Sende-und-Empfangs-Gerät vorwiegend für den UKW-, aber auch für den KW-Bereich, das Bausteine oder -gruppen enthält, die sowohl zum Senden als auch zum Empfang benutzt werden (z. B. Verstärkerstufen, Oszillator). Sende- und Empfangsfrequenz können daher nicht voneinander unabhängig verändert werden, sondern müssen gleich sein oder sich um einen festen Betrag unterscheiden. T. werden im beweglichen Funkdienst und für Funkverbindungen eingesetzt, deren Geräte nur wenig Raum beanspruchen dürfen und durch jedermann bedienbar sein sollen (z. B. Verkehr mit abgelegenen Siedlungen, Baustellen, kleinen Inseln).

Transfluxor ↑ Speicher 1.

Transformator, *Übertrager*: Bauelement auf der Grundlage der elektromagnetischen Induktion zum Umformen von Wechselspannung bzw. -strom oder zur ↑ Anpassung eines Wechselstromverbrauchers an eine Wechselstromquelle. Ein T. besteht i. allg. aus mindestens 2 elektrisch getrennten (oder an höchstens einem Punkt verbundenen) Wicklungen, die durch ein gemeinsames Magnetfeld verknüpft sind. Die Windungen sind so angeordnet, daß sie, von stets vorhandener Streuung abgesehen, von sämtlichen Feldlinien durchsetzt werden. Die Wicklung, der die umzuformende Spannung bzw. der umzuformende Strom zugeführt wird, heißt *Primärwicklung*, die Wicklung, an der die transformierte Spannung bzw. der transformierte Strom abgenommen wird, *Sekundärwicklung* mit den Windungszahlen w_1 bzw. w_2. Wird die Primärwicklung mit einer Wechselstromquelle verbunden, so entsteht ein magnetisches Feld, das Stärke und Richtung mit der Frequenz der Wechselstromquelle ändert. Seine Feldlinien durchsetzen auch die Sekundärwicklung und induzieren infolgedessen in dieser eine Wechselspannung gleicher Frequenz. Aus den Gesetzen der elektromagnetischen Induktion ergeben sich bei Leerlauf (kein Verbraucher an Sekundärwicklung angeschlossen) für das Übersetzungsverhältnis $\ddot{u}$ die Beziehungen: $\ddot{u} = w_1/w_2 = U_1/U_2 = I_2/I_1$. Die elektrische Leistung ist, von Verlusten abgesehen, an Primär- und Sekundärseite gleich. Für das Verhältnis Spannung/Strom an Primär- und Sekundärwicklung gilt: $U_1/I_1 = \ddot{u}^2(U_2/I_2)$. Da das Verhältnis Spannung/Strom einem Widerstand entspricht, formt ein T. Widerstände im Quadrat des Übersetzungsverhältnisses um und kann deshalb zur Anpassung verwendet werden. T.en für den NF-Bereich – zu ihnen zählen auch ↑ Netztransformatoren – enthalten stets einen ferromagnetischen

Kern. Grundformen sind der *Kern-T.*, bei dem alle Schenkel umwickelt sind und den Kern einschließen, sowie der *Mantel-T.*, bei dem Joche und Rückschluß-(Außen)Schenkel mantelartig die Wicklungen umhüllen. Im T. treten Verluste durch den Ohmschen Widerstand der Wicklungen, vor allem aber *Eisenverluste* auf, die durch Wirbelströme und durch den Energieaufwand zum dauernden Ummagnetisieren des Kerns hervorgerufen werden.
Um die Wirbelstromverluste niedrig zu halten, wird der Kern aus einzelnen Stahlblechen geschichtet, die gegeneinander durch Lack, Papier oder künstliches Verzundern isoliert sind und zum Herabsetzen der Ummagnetisierungsverluste, z. B. mit 4% Silizium, legiert werden. Bei höheren Niederfrequenzen ersetzt man die Bleche durch Ferritkerne.
Ausgangs-T.en haben vor allem die Aufgabe, den Ausgang eines elektronischen Geräts, z. B. eines Verstärkers, an den Verbraucher, etwa einen Lautsprecher, anzupassen oder vom Verbraucher die der Speisung des Geräts dienende Gleichspannung fernzuhalten.
HF-T.en sind für die Übertragung hochfrequenter Spannungen und Ströme vorgesehen. Sie enthalten einen Ferritkern oder sind kernlos und bilden oft Teile von Schwingungskreisen. *Auto-* oder *Spar-T.en* haben nur eine durchgehende Wicklung mit einer Anzapfung. Die gesamte Wicklung dient als Primärseite, der Teil zwischen Anzapfung und einem Wicklungsende als Sekundärseite (oder umgekehrt). Auto-T.en erfordern wegen der gemeinsamen Benutzung eines Wicklungsteils weniger Windungen als andere T.en und lassen sich daher raumsparender ausführen. Häufig sind an der Sekundärwicklung zusätzliche Anzapfungen zur Entnahme stufenweise veränderbarer Spannung vorgesehen.
Impuls-T.en sollen Impulse oft großer Leistung (z. B. in Radargeräten) möglichst ohne Verzerrung (Verformung) übertragen. Verzerrungen werden vor allem durch die magnetischen Eigenschaften des T.kerns, durch die Kapazität zwischen den Windungen sowie durch bes. bei schmalen Impulsen im Kern auftretende starke Wirbelströme hervorgerufen. Man vermindert die Verzerrungen durch entspr. Gestaltung des Kerns, durch Wahl eines Kernmaterials mit hoher Permeabilität und großem spezifischen Widerstand (Ferrit oder sehr dünne Bleche) sowie durch Verwendung von Isoliermaterial niedriger Dielektrizitätskonstante. Als Impuls-T.en bez. man auch T.en, mit deren Hilfe unter Ausnutzung magnetischer Sättigungserscheinungen sinusförmige Wechselspannungen in impulsartige Spannungen, z. B. zur Steuerung von Gasentladungsröhren, umgewandelt werden.
Transformatorkopplung ↑ Verstärker 2.1.
Transistor [von engl. *trans*fer + res*istor*, etwa Übertragungswiderstand]: steuerbares Halbleiterbauelement mit meist 3 Anschlüssen (Elektroden), i. allg. aus einkristallinem Germanium oder Silizium als Grundmaterial hergestellt. An der Funktion *bipolarer T.en* sind Elektronen und Defektelektronen, an der Funktion *unipolarer T.en* Elektronen oder Defektelektronen beteiligt.

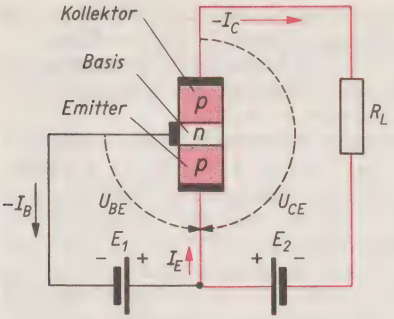


Abb. *1*: Zur Wirkungsweise des Flächentransistors (Typ *pnp*)

1. Bei bipolaren T.en überwiegt der *Flächen-T.*, bestehend aus einer Folge von 3 Gebieten unterschiedlichen Leitungstypus, und zwar *Emitter*(zone), *Basis*(zone) und *Kollektor*(zone), die durch 2 ↑ *pn*-Übergänge voneinander getrennt sind; nach der Folge der Gebiete unterscheidet man *pnp*- und *npn-T.en.*

Wirkungsweise: Entscheidend für die Funktion jedes bipolaren T. ist, daß beide *pn*-Übergänge über die höchstens einige Mikrometer, häufig nur Bruchteile eines Mikrometers dicke und schwächer als die angrenzenden Gebiete dotierte Basis in Wechselwirkung stehen. Der *pnp-T.* der Abb. *1* ist an 2 Spannungsquellen E_1 und E_2 so angeschlossen, daß der Emitter-Basis-Übergang in Durchlaßrichtung, der Kollektor-Basis-Übergang in Sperrichtung gepolt ist. Über den Emitter-Basis-Übergang werden Defektelektronen in die Basis injiziert und verursachen den Emitterstrom I_E. Die meisten Defektelektronen diffundieren durch die dünne Basis, gelangen in den Bereich des Kollektor-Basis-Übergangs, überwinden diesen und werden vom Kollektoranschluß „aufgesammelt". Statt des bei fehlender Ladungsträgerinjektion sehr schwachen Sperrstroms über den Kollektor-Basis-Übergang fließt der vielfach stärkere Kollektorstrom I_C. Er ist jedoch stets $< I_E$ (um etwa 1 bis 5%), da ein Teil der Defektelektronen in der Basis mit Elektronen rekombiniert. Eine entspr. Anzahl von Elektronen tritt über den Basisanschluß ein; es fließt ein Basisstrom I_B. Dabei ist es üblich, Ströme als positiv zu bezeichnen, die in den T. hineinfließen, als negativ solche, die aus dem T. herausfließen (man schreibt z. B. für einen *pnp*-T. $I_C = -3$ mA oder $-I_C = 3$ mA).

Wegen des geringen Widerstands des in Durchlaßrichtung arbeitenden Emitter-Basis-Übergangs rufen kleine Änderungen der Spannung zwischen Emitter und Basis erhebliche Änderungen von I_E hervor, die sich auf I_C übertragen. I_C ist demnach mit Hilfe von I_E bzw. U_{BE} steuerbar, wobei z. B. mit Hilfe des von I_C durchflossenen hochohmigen Belastungswiderstands R_L eine verstärkende Wirkung erzielbar ist. Die Steuerung erfolgt jedoch, im Unterschied z. B. zur Triode, nicht leistungslos.

Für die Schichtenfolge *npn* (häufig bei Si-T.en angewendet) ergeben sich

entspr. Beziehungen, sofern statt Defektelektronen Elektronen und umgekehrt betrachtet und die Spannungsquellen umgepolt werden.
Die Unterscheidung der Flächen-T.en kann erfolgen 1.1. nach dem hauptsächlichen Anwendungsbereich und 1.2. nach dem technologischen Aufbau des T.systems.
1.1.1. *HF-T.en* sind meist bis in den UHF-Bereich einsetzbar, was u. a. geringe Ladungsträgerlaufzeit und niedrige Kapazität am Kollektor-Basis-Übergang voraussetzt, und liefern häufig, z. B. in Kleinsendern, eine erhebliche Leistung. 1.1.2. *NF-T.en* sind für Anwendungen im NF- bzw. Tonfrequenz-Bereich vorgesehen. 1.1.3. *Leistungs-T.en* für den HF- und NF-Bereich verarbeiten eine verhältnismäßig hohe Leistung und müssen so konstruiert sein, daß die auftretende Wärme möglichst rasch und vollständig abgeführt wird. Das erfordert einerseits großflächige Kollektor-Basis-Übergänge, deren Kapazität anderseits für Anwendungen im HF-Bereich möglichst gering sein muß. Durch entspr. Ausführung des T. und durch Kühlmaßnahmen, wie wärmeabführende Montagebleche, Kühlflügel u. a. werden diese Forderungen erfüllt. 1.1.4. *Schalt-T.en* weisen im ausgeschalteten Zustand einen sehr hohen, im eingeschalteten Zustand einen sehr niedrigen Widerstand auf, ihre Umschaltzeiten sollen möglichst kurz sein; häufig ist eine große Leistung mittels geringer Steuerleistung zu schalten. Diese – einander häufig widersprechenden – Forderungen führten zur Entwicklung zahlreicher T.bauformen. Die dabei angewendeten Herstellungsverfahren (vgl. Halbleitertechnologie) haben sich in allen Bereichen der Halbleitertechnik bewährt.
1.2.1. *Legierungs-T.en* (vgl. Halbleitertechnologie, Abb. *1*) für den NF- und HF-Bereich sowie als Leistungs-T.en produziert, sind bis zu Frequenzen um 10 MHz verwendbar. 1.2.2. In *Diffusions-T.en*, deren *pn*-Übergänge durch Eindiffundieren der Dotierungsstoffe erzeugt werden, wird die Laufzeit der Ladungsträger durch die Basis dadurch verkürzt, daß die Störstellendichte in Richtung zum Kollektor-Basis-Übergang abnimmt, wodurch ein beschleunigendes elektrisches Feld entsteht (*Drift-T.*). Außerdem ist am Kollektor-Basis-Übergang wegen der dort geringen Störstellendichte eine niedrige Kapazität erreichbar. 1.2.3. Bes. mit einer Kombination aus Legierungs- und Diffusions-T., dem *diffusionslegierten T.*, sind Grenzfrequenzen im UHF-Bereich erzielbar.
1.2.4. *Mesa-T.en* verstärken und erzeugen elektrische Schwingungen bis zu Frequenzen im dm-Wellenbereich. Durch bes. geformte, z. B. kamm- oder sternförmige, Emitter werden Leistungen bis nahe 1 W im UHF-Bereich erzielt.
1.2.5. *Planar-T.en* (vgl. Halbleitertechnologie, Abb. *2*) zeichnen sich, da ihre halbleitenden Gebiete und *pn*-Übergänge durch Siliziumdioxidschichten gegenüber Umwelteinflüssen geschützt sind, durch bes. hohe Lebensdauer, Zuverlässigkeit und Konstanz der elektrischen Kennwerte aus. Der *Overlay-T.* [engl. to overlay, darüberlegen] ist ein Planar-T. bes. für die Leistungsverstärkung im UHF-Bereich. Sein Emitter besteht aus

bis zu 300 winzigen Teilen, die durch der Siliziumdioxidschicht aufgedampfte Leiterbahnen verbunden sind. Bei Frequenzen um 1 GHz wird eine Ausgangsleistung von 15 W erzielt.

1.2.6. *Epitaxie-T.en* werden als Planar- und Mesa-T.en gefertigt. Durch Kombinieren von Schichten verschiedener, durch die jeweilige Dotierung bestimmter Leitfähigkeit erreichen sie bes. günstige elektrische Kennwerte.

1.2.7. *Metall-Basis-T.en* enthalten zwischen 2 *n*-leitenden Bereichen aus Halbleitermaterial als Basis eine dünne Metallschicht. Sie sind bis zu Frequenzen im Mikrowellenbereich einsetzbar und erweisen sich als bes. unbeeinflußbar durch äußere (z. B. radioaktive) Strahlung.

1.2.8. *Mehrschicht-T.en*, vor allem als Leistungs-T.en für den HF-Bereich entwickelt, werden aus 2 getrennten Si-Scheiben (1 Emitter-Basis- und 1 Basis-Kollektor-Scheibe) nach einem bes. Verfahren zusammengesetzt. Die *pn*-Übergänge liegen nicht an der Oberfläche, sondern im Innern des Kristalls, zur Wärmeabfuhr sind glatte Oberflächen vorhanden, die den Wärmeübergang erleichtern. Bei Frequenzen um 1 MHz wird eine Leistung von 800 W erreicht.

1.2.9. Der *Foto-T.*, als *pnp*- oder *npn*-T. gefertigt, hat i. allg. keinen Basisanschluß und beruht auf dem inneren lichtelektrischen Effekt. Durch ein Fenster, das oft mit einer kleinen Linse verschlossen ist, trifft Licht auf den Kollektor-Basis-Übergang. Es werden Ladungsträgerpaare (vgl. Diode 2.) erzeugt, deren Defektelektronen in das Kollektorgebiet und deren Elektronen in die Basis gelangen (bei *pnp*-Foto-T.en) bzw. umgekehrt (bei *npn*-Foto-T.en). In der Basis entsteht eine negative Raumladung, die eine Zunahme des Emitterstroms und damit wie bei einem Flächen-T. einen Verstärkungseffekt zur Folge hat. Bei gleicher Beleuchtungsstärke ist der Fotostrom bis max. 500fach größer als der einer Fotodiode. Foto-T.en werden in lichtelektrischen Einrichtungen der BMSR-Technik, z. B. in Lichtschranken oder Zählvorrichtungen, eingesetzt.

Komplementär heißen 2 bipolare T.en mit der Schichtenfolge *pnp* bzw. *npn* und annähernd gleichen elektrischen Kennwerten, die paarweise eingesetzt werden (vgl. Verstärker 2.2.). Sie ermöglichen häufig den Aufbau bes. einfacher Schaltanordnungen, z. B. für Stabilisierungsschaltungen, Gegentakt- und Gleichstromverstärker sowie Multivibratoren.

1.3. Das Betriebsverhalten des T. wird durch *T.kennwerte* und *-kennlinien* quantitativ beschrieben. Sie ermöglichen Entwurf und Berechnung t.bestückter Schaltungen und ihrer Eigenschaften (vgl. Elektronenröhre 2., 3.).

1.3.1. Die *T.kennwerte* sind u. a. in den Datenblättern der Hersteller enthalten und beschreiben die Arbeitsweise des T. meist in der Nähe oder an einem vorgegebenen bzw. empfohlenen Arbeitspunkt. Sie beziehen sich auf das Verhalten bei verschiedenen Frequenzen, auf Kapazitäten, das Rauschen u. a., vor allem aber auf die Verstärkungseigenschaften. Da sich bes. beim bipolaren T. aufgrund der Rückwirkung vom Aus- auf

den Eingang sowie des endlichen Eingangswiderstands kompliziertere Beziehungen für die Spannungsverstärkung u. a. ergeben als z. B. bei einer Triode, erweist es sich als zweckmäßig, den T. bei kleiner Aussteuerung um den Arbeitspunkt als aktiven linearen ↑ Vierpol aufzufassen und ihn durch spezifische *Vierpolparameter* zu kennzeichnen.
Bes. im NF-Bereich und zur ↑ Kleinsignalverstärkung werden für einen bestimmten Arbeitspunkt die *h-Parameter* (*h* = hybrid, weil die einzelnen Werte „gemischt", als Widerstände, Leitwerte oder dimensionslos angegeben werden) genannt, mit deren Hilfe wichtige Betriebsgrößen, z. B. die Verstärkung oder der Eingangswiderstand, einfach zu errechnen sind (vgl. Verstärker 2.1.). Bez. man die Wechselgrößen am Eingang mit u_1 und i_1, die am Ausgang mit u_2 und i_2, dann ergeben sich die *h*-Parameter:
$h_{11} = u_1/i_1$ mit $u_2 = 0$ – Eingangswiderstand bei kurzgeschlossenem Ausgang,
$h_{12} = u_1/u_2$ mit $i_1 = 0$ – Spannungsrückwirkung bei „offenem" Eingang (Leerlauf),
$h_{21} = i_2/i_1$ mit $u_2 = 0$ – Stromverstärkung bei kurzgeschlossenem Ausgang (Kurzschlußstromverstärkung),
$h_{22} = i_2/u_2$ mit $i_1 = 0$ – Ausgangsleitwert bei „offenem" Eingang (Leerlauf).
Die *h*-Parameter lassen sich messen oder näherungsweise dem Kennlinienfeld entnehmen. Da sie von der benutzten Grundschaltung abhängen, kennzeichnet man sie, soweit nötig, durch einen angehängten Index *b* (Basis-), *e* (Emitter-) oder *c* (Kollektorschaltung). Die *h*-Parameter der Grundschaltungen können ineinander umgerechnet werden. Neben den *h*-Parametern werden, z. B. im HF-Bereich, die *y-Parameter* verwendet; sie beziehen sich auf Verhältnisse zwischen Strom und Spannung (z. B. $y_{11} = i_1/u_1$, mit $u_2 = 0$), haben sämtlich die Dimension eines elektrischen Leitwerts und lassen sich ebenfalls in *h*-Parameter umrechnen (und umgekehrt).
Zulässige Grenzwerte werden, je nach Verwendungszweck des T., u. a. angegeben für Kollektor-Basis-Spannung, Kollektorstrom, Kollektor-Emitter-Spannung, Basisstrom, Verlustleistung und Betriebstemperatur.
1.3.2. Die *T.kennlinien* sind eine vor allem für Entwurf und Berechnungen von Schaltungen zur ↑ Großsignalverstärkung benutzte grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen 2 Betriebsgleichgrößen (Spannungen, Ströme) eines T., wobei alle übrigen Betriebsgrößen unverändert bleiben bzw. nur stufenweise verändert werden. Die z. B. für Emitterschaltung (vgl. Verstärker 1.2.) wichtigen Gleichgrößen I_C, U_{CE}, I_B und U_{BE} ergeben ein Kennlinienfeld wie in der Abb. *2*. Hier zeigt der 1. Quadrant $I_C = f(U_{CE})$. Im 2. Quadranten, $I_C = f(I_B)$, sind die Beziehungen zwischen Kollektor- und Basisstrom dargestellt, woraus sich die Kurzschlußstromverstärkung des T. bestimmen läßt. Der 3. Quadrant, $U_{BE} = f(I_B)$, drückt die Beziehung zwischen Eingangsspannung und -strom aus und kann zur Ermittlung des Eingangswiderstands dienen. $U_{BE} = f(U_{CE})$ im 4. Quadranten zeigt die Beziehung zwischen Ausgangs-

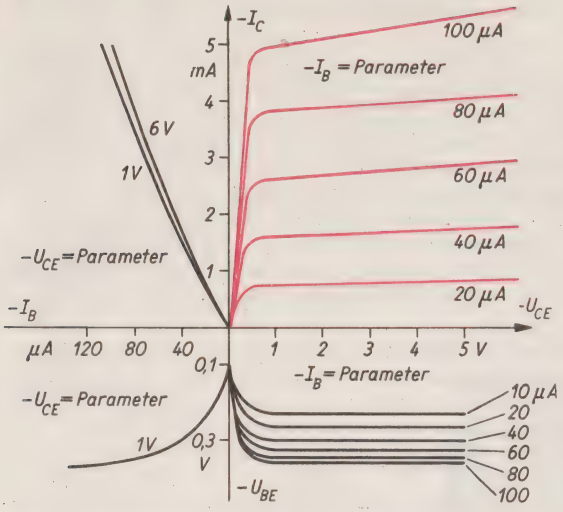


Abb. 2: Kennlinienfeld eines *pnp*-Transistors (Emitterschaltung)

und Eingangsspannung und ermöglicht damit Schlüsse über die Spannungsrückwirkung des T.ausgangs auf den Eingang. Die Kennlinien in den Datenblättern der Hersteller werden aus einer großen Anzahl aufgenommener Kennlinien ermittelt; daher sind in Einzelfällen größere Abweichungen möglich.

2. Zu den unipolaren T.en zählt vor allem der *Feldeffekt-T.* (Abk. *FET*). Seine Steuerwirkung kommt zustande, indem der Leitwert eines in Halbleitereinkristallmaterial entgegengesetzten Leitungstypus eingebetteten *Kanals* durch ein quer zur Ladungsträgerbewegung gerichtetes Feld gesteuert wird, wobei sich entweder der Kanalquerschnitt oder bzw. und die Ladungsträgerdichte im Kanal ändert. Dementspr. werden 2 Grundarten von FET unterschieden: *Sperrschicht-FET*, bei denen die Trennung zwischen Steuerelektrode und Kanal durch einen *pn*-Übergang erreicht wird (Abk. *SFET, PNFET* oder *JFET* [von engl. *Junction-FET, Übergangs-FET*]) und *FET mit isolierter Steuerelektrode*, bei denen Steuerelektrode und Kanal durch eine isolierende Schicht getrennt sind [Abk. *IGFET* von engl. *Insulated-Gate-FET*, FET mit isoliertem Tor]. Die Eintrittsstelle der Ladungsträger in den Kanal heißt *Source* [Abk. *S*, engl. Quelle], die Austrittsstelle *Drain* [Abk. *D*, engl. Senke, Abfluß], die Steuerelektrode *Gate* [Abk. *G*, engl. Tor], ein bei manchen FET (s. u.) vorhandener 4. Anschluß *Bulk* [Abk. *B*, engl. Masse].

Von bipolaren T. unterscheidet sich der FET u. a. durch sehr hohen (bis $> 10^{15}\ \Omega$) Eingangswiderstand und die Möglichkeit (nahezu) leistungsloser Steuerung (vgl. Elektronenröhre), niedrige Eingangs- und Rück-

wirkungskapazität, geringeres Rauschen und bessere thermische Stabilität.

2.1. Der *Sperrschicht-FET* besteht prinzipiell z. B. aus einem *n*-leitenden Halbleiterplättchen mit sperrschichtfreien Source- und Drain-Kontakten an beiden Enden (Abb. *3*). 2 *p*-Gebiete sind als Gate eingebracht. Der zu steuernde Strom fließt in Richtung Source-Drain. Die Steuerspannung liegt in Reihe mit einer Vorspannung so zwischen Gate und Source, daß der *pn*-Übergang sperrt. Je nach Höhe der Steuerspannung engt die sich am *pn*-Übergang bildende Raumladungszone den für den Stromfluß verfügbaren Kanal ein, sein Querschnitt und damit sein Leitwert schwanken im Rhythmus der Steuerspannung. Es gibt auch Sperrschicht-FET mit *p*-leitendem Kanal und *n*-leitendem Gate-Gebiet.

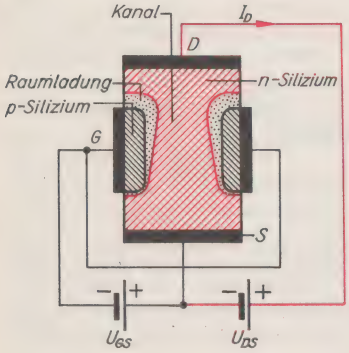


Abb. *3*: Schematischer Aufbau eines SFET mit Spannungsquellen

2.2. Von *FET mit isolierter Steuerelektrode* haben bes. Bedeutung die in Planartechnik hergestellten *MOS-Feldeffekt-T.en* [Abk. *MOSFET*, von engl. *M*etal-*O*xide-*S*emiconductor *F*ield *E*ffect *T*ransistor, Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekt-T., Abb. *4*]. In z. B. *p*-leitendes Grundmaterial (Substrat) werden in geringem Abstand 2 *n*-Gebiete hoher Störstellendichte als Source und Drain eingebracht, die durch einen *n*-leitenden Kanal verbunden sind. Die steuernde Elektrode (Gate) wird der das Halbleitermaterial schützenden Oxidschicht als Metallfilm zwischen Source und Drain aufgedampft. Bei negativer Spannung zwischen Gate und Source werden Elektronen aus dem Kanal „herausgedrängt" (Ver-

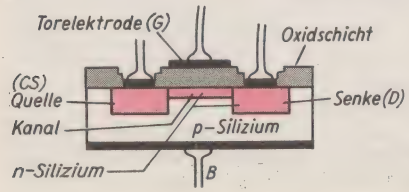


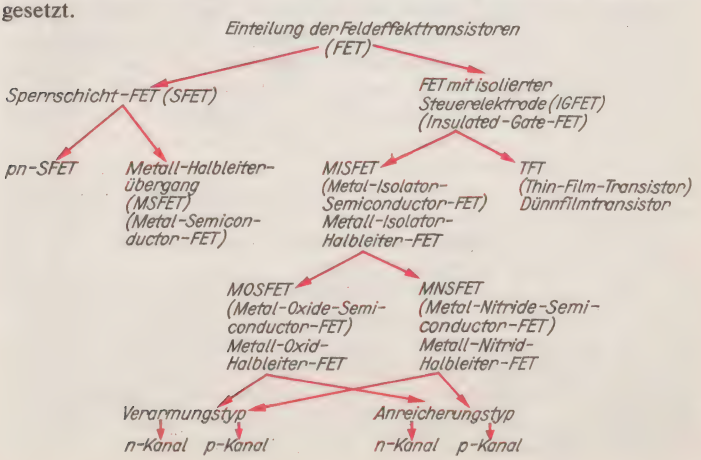
Abb. *4*: MOS-Feldeffekttransistor vom Verarmungstyp (*n*-Kanal)

armungssteuerung), bei positiver Spannung werden zusätzlich im Kanal Elektronen „angehäuft" (Anreicherungssteuerung). Der an das Substrat führende 4. Anschluß *B* wird meist mit *S* verbunden, bietet jedoch zwischen dem zwischen Substrat und Kanal bestehenden *pn*-Übergang eine 2. Steuerungsmöglichkeit. Man nennt einen FET mit Verarmungssteuerung, der sich auch mit *n*-leitendem Substrat und Defektelektronen als Ladungsträger ausführen läßt, MOSFET vom Verarmungstyp [engl. depletion mode]. Im MOSFET vom Anreicherungstyp [engl. enhancement mode], z. B. mit *p*-Substrat, bildet sich der *n*-leitende Kanal durch Influenz erst bei Anlegen einer positiven Gate-Source-Spannung, die größer sein muß, als die sog. Schwellspannung, weil der Kanal von der *p*-Leitung des Substrats über die Eigenleitung in die *n*-Leitung übergehen muß. Auch dieser MOSFET läßt sich mit *p*-leitendem Kanal herstellen. *Dual-Gate-MOSFET* [engl. zweifaches Tor, auch MOSFET-Tetrode genannt] enthalten 2 voneinander unabhängige Gates. Sie finden Verwendung z. B. zum Mischen, als Demodulator und in geregelten Verstärkerstufen.

2.3. *Foto-FET* zeichnen sich gegenüber bipolaren Foto-T.en durch größere Empfindlichkeit, sehr geringe Kapazitäten und relativ einfache Herstellung aus.

2.4. *Dünnschicht-* bzw. *-film-T.en* [Abk. *TFT*, von engl. *T*hin-*F*ilm-*T*ransistor] sind in der Erprobung befindliche FET speziell für integrierte Schaltungen. Auf einen geeigneten Träger, häufig Glas, werden Anschlußelektroden und Halbleitermaterial (z. B. Kadmiumsulfid, -selenid, Tellur) gedampft. Durch eine dünne Isolierschicht ist die ebenfalls aufgedampfte Torelektrode vom Halbleitermaterial getrennt.

FET werden auch, bes. für integrierte ↑ Schaltkreise in ↑ Halbleiterblocktechnik, als komplementäre T.en mit *n*- und *p*-leitendem Kanal eingesetzt.



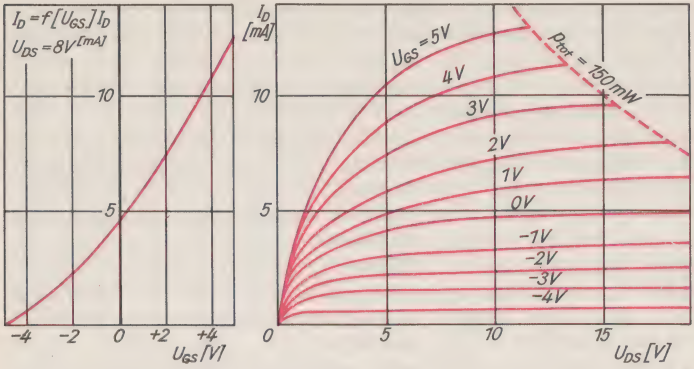


Abb. 5: Kennlinien eines *n*-Kanal-MOSFET vom Verarmungstyp

2.5. *Kennwerte* und *Kennlinien* der FET werden entspr. wie für bipolare T.en angegeben und genutzt. So werden in den Datenblättern neben Werten für die Spannung Drain/Source (U_{DS}), Gate/Source (U_{GS}) und dem Drainstrom (I_D) z. B. genannt die Steilheit ($\Delta I_D/\Delta U_{GS}$ bei U_{DS} = konstant, vgl. Elektronenröhre), die Eingangskapazität, die am FET zulässige Gesamt-Verlustleistung (P_{tot}) und die Durchbruchsspannung $U_{(BR)DS}$, d. h. die Spannung zwischen Drain und Source, bei der die vorhandene Sperrschicht zwischen Source und Substrat (Bulk) durch Lawinendurchbruch zerstört wird. Von den Kennlinien des FET interessieren bes. (Abb. 5) die Darstellung der Abhängigkeit des Drainstroms I_D von der Spannung Gate/Source („Eingangskennlinienfeld") sowie die Darstellung der Abhängigkeit des Drainstroms I_D von der Spannung Drain/Source U_{DS} für verschiedene Werte von U_{GS} („Ausgangskennlinienfeld"). Sie weisen – wie das Verhalten von FET überhaupt – gewisse Ähnlichkeiten mit den Kennlinien von Elektronenröhren auf. In Abb. 5 stellt die mit P_{tot} gekennzeichnete Linie die „Verlustleistungshyperbel" dar, die – um Überlastung des FET zu vermeiden – im Betrieb nicht überschritten werden darf.

3. Der *Unijunctions-T.* [engl. Ein-Verbindungs-T., Abk. *UJT*], auch Doppelbasisdiode genannt, besteht aus einem *n*-leitenden Plättchen mit 2 sperrschichtfreien Endkontakten (Basiskontakten) und dem Emitter als 3. Kontakt. Zwischen Halbleitermaterial und Emitter besteht ein in Durchlaßrichtung betriebener *pn*-Übergang. Die Leitfähigkeit des Halbleitermaterials zwischen den Basiskontakten kann je nach der Anzahl der über den Emitter injizierten Ladungsträger beeinflußt werden. Für den Emitterübergang ergibt sich auf diese Weise unter bestimmten Betriebsbedingungen ein negativer Widerstandsbereich. Der Unijunctions-T. kann daher z. B. für die Erzeugung von Schwingungen und Impulsen eingesetzt werden.

Der *programmierbare Unijunctions-T.* [Abk. *PUT* von engl. *P*rogrammable *UT*] kann in seinen Kennwerten in gewissem Umfang durch äußere Spannungsteiler eingestellt („programmiert") werden.

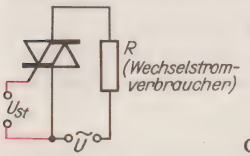
Geschichtliches. Versuche, verstärkende Halbleiterbauelemente zu entwickeln, unternahm bereits um 1925 der sowjetische Techniker *Oleg Wladimirowitsch Lossew*; sie erlangten aber wegen rascher Fortschritte der Elektronenröhre wenig Bedeutung. Der T. ging daher vor allem aus Untersuchungen an Dioden auf Halbleiterbasis hervor, die die amerikanischen Physiker *John Bardeen* und *Walter Houser Brattain* sowie der britische Physiker *William Shockley* (1956 gemeinsam Nobelpreis) unternahmen. Zunächst entstand der *Spitzen-T.* (Drahtspitzen in 30 bis 50 μm Abstand auf *n*-Germanium, durch formierenden Stromstoß Bildung von Emitter- und Kollektorzone, 1948), ab 1950 der *Flächen-T.* und seine verschiedenen Bauformen. 1960 setzte die Entwicklung des Planar- und des Epitaxie-T. ein. Das Prinzip des FET war zwar lange vor Erfindung des bipolaren T. bekannt; die Anwendung setzte jedoch – nach wenig bedeutenden Vorläufern wie dem „Tecnetron" – erst nach 1965 ein.

Transverter ↑ Gleichspannungswandler.

Treiberstufe: Leistungsverstärkerstufe, die einer ↑ Endstufe vorgeschaltet wird, wenn diese nicht nur eine Steuerwechselspannung, sondern eine Steuerleistung benötigt. T. werden z. B. in transistorisierten Leistungsverstärkern und für Senderstufen benötigt, die bis in den Bereich positiver Gitterspannungen und damit fließenden Gitterstroms ausgesteuert werden.

Trennschärfe ↑ Selektion.

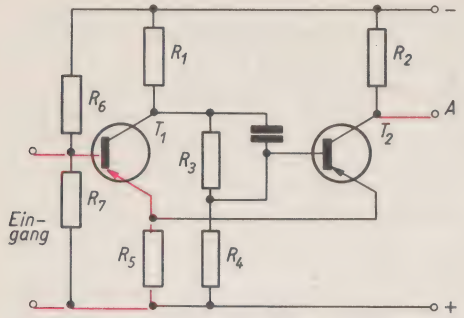
TRIAC, *Zweiwegthyristor* [von engl. *Tri*ode *A*lternating-*C*urrent Switch, Trioden-Wechselstromschalter]: Halbleiterbauelement der Schichtenfolge *n-p-n-p-n* zur Steuerung und Regelung von Wechselströmen. Der T. entspricht wirkungsmäßig 2 ↑ Thyristoren in ↑ Antiparallelschaltung, die konstruktiv in einem Si-Block vereint sind. Der T. hat in beiden Stromrichtungen je einen sperrenden und einen leitenden Zustand, der durch eine Steuerspannung U_{St} an einer Steuerelektrode aufgehoben werden kann. Gegenwärtig sind mit T. Ströme bis 100 A steuerbar.



Grundschaltung des TRIAC

Triftröhre: 1. ↑ Klystron. – **2.** ↑ Laufzeitröhre.

Trigger [engl. Auslöser, Abzugshahn]: Schaltungsanordnung, die zur Steuerung weiterer Baustufen, z. B. eines ↑ Multivibrators oder einer ↑ Dekadenzählröhre, auslösende Impulse bestimmter Form und Folgefrequenz abgibt und eine zugeführte Eingangsspannung oder -impulse entspr. umformt. Verbreitet ist vor allem der *Schmitt-T.* Er liefert



Schmitt-Trigger

rechteckige Ausgangsimpulse und kann z. B. durch eine sinusförmige Wechselspannung oder durch Sägezahnschwingungen an seinem Eingang gesteuert werden. Der Transistor T_1 ist, solange kein Eingangssignal zwischen Basis und Emitter liegt, gesperrt; die notwendige Basisvorspannung wird mit dem Spannungsteiler R_6/R_7 eingestellt. Transistor T_2 hingegen erhält über die Widerstände R_1, R_3 und R_4 eine Basisvorspannung, die ihn „öffnet" und Strom über den Widerstand R_2 fließen läßt. Infolgedessen tritt an R_2 ein Spannungsabfall auf, der als Ausgangssignal dienen kann (Signalabnahme am Punkt A). Wird dem Eingang von T_1 eine Spannung zugeführt, die den Spannungsabfall am gemeinsamen Emitterwiderstand R_5 zuzüglich dem Wert der Schwellspannung von T_1 überschreitet, so setzt für die Dauer des Eingangssignals Stromfluß durch T_1 ein. Dabei wird die Basisvorspannung von T_2 nahezu Null; T_2 sperrt, Stromfluß und damit der Spannungsabfall an R_2 setzen aus. Durch die Gleichstromkopplung beider Transistoren über den gemeinsamen Emitterwiderstand R_5 kippt die Schaltung in kürzester Zeit um und am Ausgang A können Rechteckimpulse entnommen werden.

Ist der Eingangsimpuls oder die -spannung wieder unter den zum Öffnen von T_1 erforderlichen Schwellenwert gesunken, dann sperrt T_1 erneut, während T_2 Strom hindurchläßt. Damit ist der Ausgangszustand wiederhergestellt, und beim nächsten Signal wiederholt sich der Vorgang. Entscheidend für die Breite der Ausgangsimpulse ist lediglich die Zeit, während der das Eingangssignal den zum Öffnen von T_1 nötigen Schwellenwert erreicht oder überschreitet, nicht aber die Form der Eingangsimpulse oder -spannung.

Trimmer ↑ Kondensator.

Trinitron ↑ Bildröhre 2.

Triode ↑ Elektronenröhre.

True-Motion-Anzeige ↑ Radar.

TSE-Beschaltung (Abk. für Trägerstaueffekt-Beschaltung): Parallelschaltung eines mit einem Kondensator in Reihe liegenden Widerstands zu Thyristoren und Dioden in der Leistungselektronik, um Auswirkungen des sog. Trägerstaueffekts abzufangen. Beim Wechsel von Durchlaß- auf

Sperrichtung befinden sich an den *pn*-Übergängen zahlreiche Ladungsträgerpaare, deren Verschwinden (z. B. durch Rekombination) eine endliche Zeit (z. B. 2 bis 5 μs) dauert. Für diese Zeit fließt noch Strom in Sperrichtung, der dann abreißt und im Zusammenwirken mit den im Stromkreis vorhandenen Induktivitäten gefährliche Überspannungen hervorrufen kann. Der Kondensator baut sie ab (vgl. Funkenlöschung); der Widerstand dämpft entstehende Schwingungen rasch.

TTL ↑ Logiksystem.

Tuner ↑ Kanalwähler.

Tunneleffekt ↑ Diode 2.

TV-Stab ↑ Selengleichrichter.

Twistor ↑ Speicher 2.

Typenschlüssel: von den Produzenten eines oder mehrerer Länder vereinbartes System von Kurzbez. zum Kennzeichnen von Elektronen- und Gasentladungsröhren, Halbleiterbauelementen und integrierten Schaltungen in bezug auf Betriebsdaten und bzw. oder Verwendungszweck. In dem u. a. in der DDR und der BRD verwendeten T. für Empfängerröhren (*Röhrenschlüssel*) z. B. kennzeichnet der 1. Buchstabe die Heizspannung U_h (bei Parallelheizung) oder den Heizstrom I_h (bei Serienheizung), die folgenden Buchstaben das Elektrodensystem und den Verwendungszweck der Röhre, die anschließenden Zahlen die Sockelung der Röhre:

Buchstabe	an 1. Stelle	an den folgenden Stellen
A	U_h = 4 V	HF-Diode
B	I_h = 180 mA	HF-Duodiode
C	I_h = 200 mA	Triode
E	U_h = 6,3 V	Tetrode für NF-Verstärkung
F	U_h = 12,6 V	Pentode
H	I_h = 150 mA	Hexode oder Heptode
L	–	Pentode oder Tetrode für NF-Leistungsverstärkung
M	–	Abstimmanzeigeröhre
P	I_h = 300 mA	–
U	I_h = 100 mA	–
Y	–	Einweggleichrichterröhre
Z	–	Zweiweggleichrichterröhre

Beispiel: Die Röhre „ECF 82" ist eine Verbundröhre für U_h = 6,3 V, die ein Trioden- und ein Pentodensystem enthält und mit einem Neunstiftsockel versehen ist.

Bei in der DDR produzierten Halbleiterbauelementen gibt der 1. Buchstabe das Ausgangsmaterial an (G Germanium, S Silizium), der 2. den Verwendungszweck. Ein mitunter folgender 3. Buchstabe weist auf Verwendung für kommerzielle Zwecke, z. B. in der industriellen Elektronik, hin, während die nachfolgenden Ziffern den produktionsbe-

dingten Entwicklungsstand kennzeichnen, d. h. eine Serienbez. darstellen. Als 2. Buchstabe bedeuten:

A Diode	R Bauelement mit Durchbruchkennlinie (z. B. Vierschichtdiode)
C NF-Transistor	
D NF-Leistungstransistor	
E Tunneldiode	S Schalttransistor
F HF-Transistor	T Thyristor für Ströme bis 10 A
L HF-Leistungstransistor	U Leistungsschalttransistor
M Feldeffekttransistor	Y Gleichrichterdiode für Ströme bis 10 A
P strahlungsempfindliches Bauelement (z. B. Fotodiode)	Z Z-Diode

Beispiel: Der Transistor „GD 120" ist ein NF-Leistungstransistor mit Germanium als Ausgangsmaterial.

Bei in der DDR produzierten integrierten Schaltungen kennzeichnet der 1. Buchstabe die Art des Schaltkreises und den Temperaturbereich. Die anschließenden 3 Ziffern sind Typnummern, der folgende Buchstabe bez. die Gehäuseart.

Arten der Schaltkreise	Temperaturbereiche	Arten der Schaltkreise	Temperaturbereiche
A analog bipolar	0 bis 70 °C	F digital bipolar	–55 bis 125 °C
B analog bipolar	–25 bis 85 °C		
C analog bipolar	–55 bis 125 °C	U unipolar	0 bis 70 °C
D digital bipolar	0 bis 70 °C	W unipolar	–25 bis 85 °C
E digital bipolar	–25 bis 85 °C	Z unipolar	–55 bis 125 °C

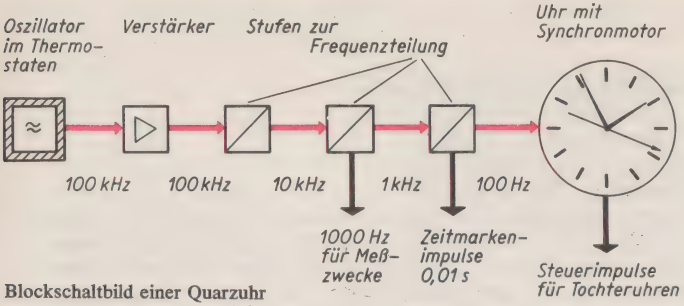
Gehäuseart

B Metall-Glas-Gehäuse
C DIL-Gehäuse, Keramikausführung
D DIL-Gehäuse, Plastausführung
E Quad-in-Line-Gehäuse
F Flat pack-Gehäuse

Beispiel: Der Schaltkreis *A 110 D* ist ein analoger bipolarer Schaltkreis für den Temperaturbereich 0 bis 70 °C der Typnummer 110 und in DIL-Plastgehäuse.

U

Überlagerungsempfänger ↑ Superhet.
Überreichweite ↑ Wellenausbreitung.
Überschußleitung ↑ Halbleiter.
Übersteuerung ↑ Aussteuerung.
Übertrager ↑ Transformator.
Übertragungswagen, *Ü-Wagen*: Kraftfahrzeug mit allen für Außenübertragungen, d. h. von außerhalb des Studios, des Hör- und Fernsehrundfunks nötigen Einrichtungen, Geräten und Hilfsmitteln. Dazu zählen beim Hörrundfunk vor allem mehrere (auch ,,drahtlose") Mikrofone mit den zugehörigen Verstärkern, Misch- und Regeleinrichtungen für Tonsignale verschiedener Mikrofone (vgl. Mischpult) sowie mehrere Magnetbandgeräte zur Speicherung der Tonaufnahmen. Bei Direktübertragungen kann man mit der Ausrüstung des Ü. Tonaufnahmen unmittelbar über das öffentliche Fernmeldenetz, Spezialkabel, mitunter auch drahtlos zum Funkhaus überspielen. Zu Ü. für den Fernsehrundfunk gehören außerdem ein oder mehrere Kamerazüge, Verstärker für die Bildsignale und ein Taktgeber. Die Übertragung der Bild- und Tonsignale zum Studio oder bis zur nächsten als Programmzubringer vorgesehenen Richtfunkstrecke geschieht über eine dm- oder cm-Wellen-Funklinie, deren Antenne z. B. mit einem Kurbelmast ausgefahren werden kann. – Zur Stromversorgung von Ü. dient entweder das öffentliche Netz oder ein Generatoraggregat.
UHF und **Ultrakurzwellen** ↑ Frequenzbereiche.
Uhr, elektronische: Zeitmesser auf der Grundlage elektrischer Schwingungen hoher, meist durch ein piezoelektrisches Element (↑ piezoelektrischer Effekt) gewährleisteter Frequenzkonstanz. Diese sog. Quarzuhren wurden anfänglich nur als Präzisionsmesser (Gangfehler ≦ 0,001 s/Tag) für wissenschaftliche Zwecke (u. a. als Bestandteile von ↑ Atomuhren) genutzt. Ein quarzstabilisierter ↑ Oszillator erzeugt eine Grundfrequenz von z. B. 100 kHz, die verstärkt und in aufeinanderfolgenden Stufen auf eine zur Steuerung der Anzeigeelemente geeignete Frequenz geteilt wird. Die Anzeige erfolgt durch von einem Synchronmotor getriebene Zeiger oder digital z. B. durch ↑ Ziffernanzeigeröhren. Meist können zusätzlich konstante Frequenzen sowie Steuerimpulse für Tochteruhren entnommen werden (Abb.).
Der Einsatz integrierter Schaltungen ermöglichte eine wesentliche Verkleinerung und Verbilligung der e. U.en. Sie sind u. a. als Armbanduhren verfügbar. Oszillator (mit Ausnahme des piezoelektrischen Elements), Frequenzteiler und Verstärker sind in einem ↑ Chip integriert, die Stromversorgung wird durch ein Miniaturelement für ≧ 1 Jahr gesichert. Neben Anzeige, bei der die Zeiger durch einen winzigen Schrittschaltmotor bewegt werden, setzen sich Leuchtdioden und Flüssigkristallanzeigeelemente durch, so daß solche e. U.en keine bewegten, mechanischem Verschleiß oder Verschmutzung ausgesetzten Teile enthalten.



Blockschaltbild einer Quarzuhr

Daneben existieren e. U.en, deren Frequenzkonstanz durch einen elektromagnetisch erregten, in einer Rückkopplungsschaltung liegenden Schwinger („Stimmgabeluhr") aufrechterhalten wird, sowie e. U.en, die drahtlos durch die Impulse eines Zeitzeichensenders gesteuert werden.

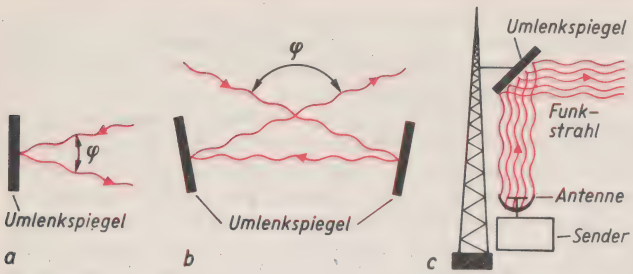
Ultraschall-Fernbedienung: mit Ultraschallwellen arbeitende drahtlose Fernsteuerung zur Erhöhung des Bedienkomforts von Fernsehempfängern. Dem Ultraschallaufnehmer des Empfängers werden vom Geber des batteriegespeisten und somit frei beweglichen Bediengerätes Steuerkommandos zugestrahlt, deren Frequenzen, um Beeinflussung durch die Zeilenfrequenz (bei 625-Zeilen-Norm 15,625 kHz) oder Vielfachen davon auszuschließen, meist zwischen 33 und 46 kHz liegen. Der Geber-Oszillator erzeugt entweder e i n e, mit dem jeweiligen Steuerkommando codierte Frequenz, oder mehrere, deren jeder ein Steuerkommando zugeordnet wird. Entspr. erfolgt im Empfänger eine Decodierung oder eine Auswertung nach dem Prinzip einer ↑ Selektivrufeinrichtung, woraus die Steuervorgänge abgeleitet werden.

Alle wichtigen Bedienfunktionen können am Empfänger und über das Bediengerät gesteuert werden. Die Kanalwahl geschieht bei U. z. B. über eine Druck- oder Berührungstaste. Durch mehrmaliges Drücken (Berühren) wird fortgeschaltet, bis der im Empfänger vorprogrammierte Kanal eingestellt ist. Stetige Veränderungen, z. B. das Einstellen von Lautstärke und Helligkeit, werden z. B. über Ein- und Ausschalten von Stellmotoren an den Bedienelementen im Empfänger erreicht oder durch Steuerspannungen, die je nach Dauer der Tastenbetätigung einen Kondensator mehr oder weniger laden und dadurch auf die entspr. Stufen einwirken. Auch Abschalten des Empfängers und sein Einschalten aus einer an diesem zu betätigenden „Bereitschaftsstellung" sind mit Hilfe der U. möglich.

Ultraschallortung: Entfernungs- und Richtungsbestimmung nach dem Prinzip, die Laufzeit ausgesendeter Ultraschallimpulse (*Suchimpulse*) und der von einem georteten Objekt zurückkehrenden *Echoimpulse* zu messen; bei bekannter Schallgeschwindigkeit ergibt sich daraus die Entfernung des reflektierenden Objekts. Werden eng gebündelte Ultraschall-

impulse abgestrahlt, so besteht überdies die Möglichkeit, die Richtung zum Objekt festzustellen. Die U. wird vor allem im *Echolot* der Schiffahrt angewendet. Ein Ultraschallgeber am Schiffsboden wird periodisch, z. B. durch plötzliche Kondensatorentladungen, zu Impulsen von etwa 1 ms angeregt. Sie laufen zum Meeresgrund, werden dort reflektiert und erreichen einen ebenfalls am Schiffsboden eingebauten Ultraschallempfänger, der sie in Spannungsimpulse rückverwandelt. Diese werden verstärkt und zur Anzeige der Wassertiefe benutzt. Eine am Rande einer kreisförmigen Scheibe befestigte Glimmlampe läuft vor einer Tiefenskale um. Passiert die Glimmlampe die Nullmarke, so löst ein Kontakt an der Scheibenachse einen Suchimpuls aus. Der Echoimpuls läßt die Glimmlampe, die sich während der Impulslaufzeit um einen der Wassertiefe proportionalen Winkel weiterdrehte, aufblitzen. Dieser Vorgang wiederholt sich bei jeder Scheibenumdrehung, das Auge sieht eine Leuchtmarke neben der Tiefenangabe (*Lichtzeigerlot, Echometer*). Durch Umschalten der Scheibendrehzahl können verschiedene Tiefenbereiche (bis 1 500 m und darüber) gewählt werden. Der *Echograph* markiert fortlaufend die Wassertiefe auf einem proportional der Schiffsgeschwindigkeit bewegten Papierstreifen. Er zeichnet so ein Profil des Bodens unter dem Kiel, das Rückschlüsse auf die Bodenbeschaffenheit ermöglicht (*Navigationsechograph*). Außerdem sind Fischschwärme nach Ausdehnung und Schwimmtiefe zu erkennen, weshalb Hochsee-Fischereischiffe heute mit einem speziellen *Fischerei-Echographen* zur Fischsuche und -ortung ausgerüstet sind. Auf dem Bildschirm einer Elektronenstrahlröhre in einem zugeschalteten *Fischsichtgerät* (*Fischlupe*) können Ausschnitte des gesamten Tiefenbereichs so lupenartig gedehnt werden, daß sogar die Fischarten festzustellen sind. Außer dem bisher behandelten *Vertikallot* (V-Lot) gibt es auch das *Horizontallot* (H-Lot) mit nach vorn strahlendem Geber und vor allem das kombinierte *HV-Lot*, dessen Geber von Hand oder automatisch (motorisch) in einem bestimmten Winkelbereich horizontal hin- und her- und vertikal auf- und abgeschwenkt wird. Dadurch sind Unterwasserhindernisse (Eisberge!) und Fischschwärme auch in Vorausrichtung auszumachen. Im militärischen Bereich ist die U. vor allem Hilfsmittel zur Suche nach Unterwasserfahrzeugen (*hydroakustische Station* auf U-Boot-Jägern und in U-Boot-Jagdhubschraubern). Vereinfachte, miniaturisierte Anlagen zur U., mit deren Hilfe Blinde vor Hindernissen gewarnt werden, befinden sich im Versuchsstadium.

Umlenkspiegel: passiver Reflektor, der in Richtfunkstrecken eingesetzt wird, wenn der Funkstrahl zwischen 2 aktiven Stationen (2 Relaisstationen oder Relaisstation und Endstelle) z. B. aus geographischen Gründen umgelenkt werden muß. Als U. dienen Planspiegel, Metallflächen mit gegenüber der Betriebswellenlänge großen Abmessungen (Abb. *a*). Da bei großem *Umlenkwinkel* φ der Wirkungsgrad der Umlenkung gering ist, setzt man in diesem Fall 2 U. mit entspr. kleineren Umlenkwinkeln ein (Abb. *b*). Mitunter wird ein U. auch angewendet, um eine lange Kabelverbindung zwischen Sender und Antenne einer Richtfunkstation zu



Umlenkspiegel bei kleinem (a) und großem Umlenkwinkel (*b*) sowie als Ersatz des Antennenkabels (*c*)

sparen. Die von der direkt mit dem Sender verbundenen Antenne abgestrahlte Energie wird durch einen Planspiegel oder durch einen großen Paraboloidspiegel (in dessen Brennpunkt die Sendeantenne angebracht ist) in Richtung der Funkstrecke gelenkt (Abb. *c*).

UND-Glied ↑ logische Grundschaltungen.

Univibrator ↑ Multivibrator.

V

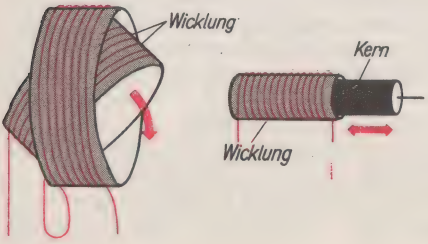
Valenzband ↑ Bändermodell.

Van-Duuren-System ↑ Funkfernschreiben.

Varaktor ↑ Diode 2.

Varicap [von engl. *Vari*able *Cap*acity Diode, Diode mit veränderbarer Kapazität]: svw. Varaktor, ↑ Diode 2.

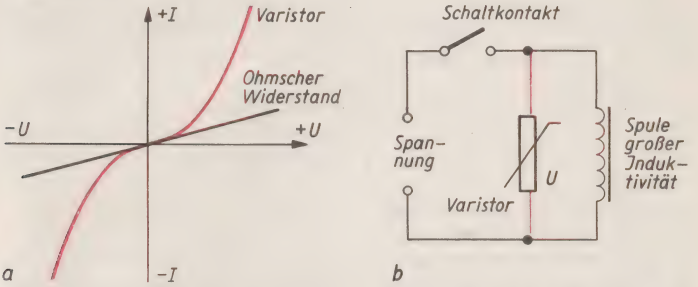
Variometer *n*: Bauelement mit stetig veränderbarer Induktivität. Meist ist von 2 Spulen mit hintereinander geschalteten Wicklungen die eine gegenüber der anderen schwenkbar (drehbare Spule meist im Innenraum der festen). Beim *Massekern-V.* wird ein ferromagnetischer Kern in das



Variometer mit drehbarer Spule (*links*) und Massekern-Variometer (*rechts*)

Innere einer zylindrischen Spule getaucht. Das *Magnet-V.* hat einen ferromagnetischen Kern, der durch Gleichstrom verschieden stark vormagnetisiert wird. V. werden, ähnlich wie Drehkondensatoren, in Schwingungskreisen veränderbarer Eigenfrequenz (Sender, Empfänger) verwendet.

Varistor [von engl. *va*riable res*istor*, veränderlicher Widerstand], *VDR-Widerstand* [von engl. *v*oltage *d*ependant resistor, spannungsabhängiger Widerstand]: Bauelement aus polykristallinem Halbleitermaterial, dessen Widerstand R mit wachsender Spannung U abnimmt. Die Spannungs-Strom-Kennlinie hat den in der Abb. *a* gezeigten Verlauf. V.en bestehen meist aus Siliziumkarbid, dessen Körner mit einem Bindemittel zu Scheiben gepreßt und anschließend zusammengesintert werden. Die für das Verhalten des V. entscheidenden, noch nicht restlos aufgeklärten physikalischen Vorgänge laufen an den Berührungsstellen der Siliziumkarbidkörner ab.



Spannungs-Strom-Kennlinie eines Varistors und eines Ohmschen Widerstands (*a*) und Schaltung eines Varistors zur Unterdrückung von Spannungsspitzen (*b*)

V.en dienen vor allem zum Abfangen hoher Spannungsimpulse (z. B. beim Bildrücklauf in Fernsehempfängern) oder zur Funkenlöschung an Kontakten in Stromkreisen hoher Induktivität. Die z. B. beim Abschalten einer stromdurchflossenen Spule großer Induktivität auftretende Spannung (Abb. *b*), die ein Mehrfaches der urspr. angelegten Spannung betragen kann, ruft durch den V., dessen Widerstand mit der Spannung sinkt, einen hohen Strom hervor, der der Ausbildung der Spannungsspitze entgegenwirkt. V.en werden außerdem u. a. zur Spannungsbegrenzung und -stabilisierung sowie zur Bereichdehnung bei Meßinstrumenten verwendet.

VDR-Widerstand ↑ Varistor.

Verarmungstyp ↑ Transistor 2.2.

Verbundröhre ↑ Elektronenröhre.

Verhältnisdiskriminator ↑ Demodulation.

Verkehrsfunk: Sammelbez. für alle Arten des *beweglichen Landfunkdienstes*, d. h. zwischen beweglichen Funkstellen (meist Fahrzeugen)

untereinander und mit festen Funkstellen an Land bzw. auf Binnenschiffen; ↑ Rangierfunk, ↑ Seefunkverkehr und ↑ Flugfunkverkehr gehören nicht dazu (vgl. Funkdienst, beweglicher). Der V. wird als ↑ Sprechfunk im VHF- oder UHF-Bereich abgewickelt. Man bevorzugt Frequenzmodulation aufgrund des günstigen Verhaltens gegenüber Störungen, der selbsttätigen Unterdrückung schwacher, störender Sender und des Ausgleichs von Lautstärkeschwankungen, wie sie z. B. bei Fahrt in dicht bebautem Gelände entstehen. I. allg. ruft eine feste Leitfunkstelle (Sendeleistung mehrere 10 W) die beweglichen Funkstellen bzw. nimmt deren Rufe entgegen und übernimmt auch die Überleitung von Funkgesprächen zum bzw. vom öffentlichen Fernsprechnetz. Mitunter ist der Verkehr der beweglichen Funkstellen untereinander gleichfalls nur über die Leitfunkstelle möglich. Die beweglichen Stationen enthalten Sender-Empfänger, in Fahrzeugen mit einer Leistung um 15 W, sowie eine zum Senden und Empfang benutzbare Antenne; auch eine ↑ Selektivrufeinrichtung und eine Sperre gegen unerwünschtes Mithören von Funkgesprächen sind häufig vorhanden. Zum *öffentlichen V.* zählen alle Dienste, die einen unmittelbaren Verkehr mit Fernsprechteilnehmern ermöglichen, z. B. Zug-, Landstraßen- und Autobahnfunk, Wasserstraßenfunk der Binnenschiffahrt. Zum *nichtöffentlichen V.* gehören der Polizeifunk, Funkdienste der Feuerwehr, des Unfall- und Krankentransports, interne Funkdienste von Transport- und Taxibetrieben u. a. Einrichtungen.

Verlustfaktor: 1. ↑ Dielektrikum. — **2.** ↑ Spule.

Versatzbetrieb ↑ Offset-Betrieb.

Verstärker: Vierpol, mit dessen Hilfe elektrische Energie aus einer Gleichstromquelle so gesteuert wird, daß als Spannung, Strom oder Leistung dem V.eingang zugeführte Signale am V.ausgang vergrößert auftreten. Sind u_1 und i_1 Eingangswechselspannung und -strom, u_2 und i_2 Ausgangswechselspannung und -strom des V., so gilt für die 5 einen V. kennzeichnenden, mitunter auch Schaltungskennwerte, Betriebsgrößen oder Betriebsparameter genannten Größen:

Spannungsverstärkung $V_u = u_2/u_1$

Stromverstärkung $V_i = i_2/i_1$

Leistungsverstärkung $V_p = V_u \cdot V_i$

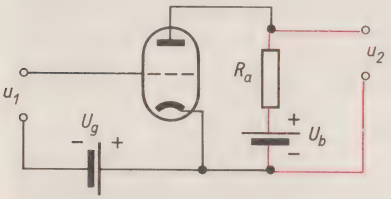
Eingangswiderstand $Z_e = u_1/i_1$

Ausgangswiderstand $Z_a = u_2/i_2$.

Aktive Bauelemente von V. sind Elektronenröhren oder Transistoren. V. können u. a. eingeteilt werden 1. nach der Grundschaltung, 2. nach der am V.ausgang abgenommenen Größe, wie Spannung, Strom, Leistung, 3. nach den Frequenzen bzw. der Breite des Frequenzbands der zu verstärkenden Signale. Weitere Unterscheidungen sind üblich z. B. nach der Anzahl der aufeinanderfolgenden V.stufen oder nach der Art der Kopplung zwischen diesen.

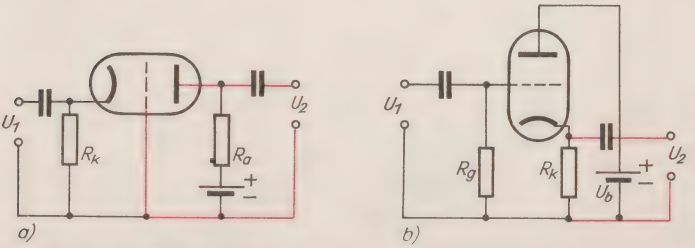
Man unterscheidet die V.grundschaltungen nach der dem Ein- und Ausgang gemeinsamen Elektrode des aktiven Bauelements.

1.1. Grundschaltungen von V. mit Elektronenröhren. *Katodenbasisschaltung* (Abb. *1*) ist die älteste und am meisten verbreitete V.schaltung (gemeinsame Elektrode, „Basis" für Eingang und Ausgang, ist die Katode). Am Eingang liegt die zu verstärkende Wechselspannung u_1 in Reihe mit der Gittervorspannung U_g. U_b ist die Betriebsspannung für den Anodenkreis. Durch die Steuerwirkung des Gitters (vgl. Elektronenröhre) wird der Anodenstrom mit der Frequenz und proportional der Amplitude von u_1 verändert. Man kann ihn sich aus einem Gleich- und einem Wechselstromanteil zusammengesetzt denken. Letzterer ruft die Ausgangswechselspannung u_2 hervor. Ihr Verlauf entspricht unter der Voraussetzung einer (mit großer Näherung zu erreichenden) verzerrungsfreien Verstärkung dem Verlauf von u_1, jedoch ist sie in der Phase um 180° verschoben. Über das Steuergitter fließt bei richtiger Größe der Gittervorspannung kein Strom; die Steuerung erfolgt leistungslos. Über die Größe der Spannungsverstärkung s. S. 386.



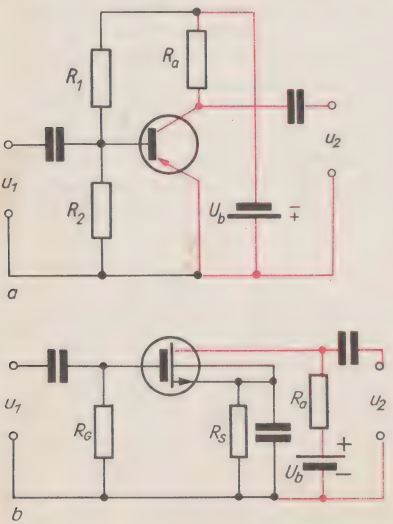
Verstärker, Abb. *1*: Katodenbasisschaltung

In der *Gitterbasisschaltung* (Abb. *2a*) liegt die Eingangsspannung u_1 zwischen Katode und Steuergitter, die Ausgangsspannung u_2 zwischen Anode und Steuergitter. Das Steuergitter schirmt Anode und Katode gegeneinander ab; die Rückwirkung des Ausgangskreises auf den Eingangskreis ist infolgedessen sehr gering, eine ↑ Neutralisation i. allg. nicht nötig. Im Unterschied zur Katodenbasisschaltung ist eine Steuerleistung erforderlich; der Eingangswiderstand ist niedrig (einige 100 Ω). Arbeitet die Gitterbasisschaltung als HF-V., so wird ein vorausgehender Schwingungskreis stark gedämpft. Daraus ergibt sich die Möglichkeit,



Verstärker, Abb. *2*: Gitterbasis- (*a*) und Anodenbasisschaltung (*b*)

relativ breite Frequenzbänder zu verstärken. Die Spannungsverstärkung (s. u.) entspricht etwa derjenigen der Katodenbasisschaltung.
In der *Anodenbasisschaltung* (Abb. 2*b*) liegt die Eingangsspannung u_1 zwischen Steuergitter und Anode (Anodenspannungsquelle kann für Wechselstrom als widerstandslos angesehen werden), die Ausgangsspannung u_2 zwischen Katode und Anode, weshalb auch die Bez. *Katoden-V.* gebräuchlich ist. Der im Gitter-Katoden- und im Anoden-Katoden-Kreis liegende Widerstand R_k bewirkt eine starke ↑ Gegenkopplung; R_g dient der Zuführung der von R_k erzeugten Gittervorspannung. Die Anodenbasisschaltung arbeitet daher sehr verzerrungsarm, stabil und über einen weiten Bereich nahezu frequenzunabhängig. Ihre Spannungsverstärkung ist stets < 1, doch läßt sich eine erhebliche Strom- bzw. Leistungsverstärkung erzielen. Ausgangs- und Eingangsspannung sind gleichphasig. Wegen des hohen Eingangs- und des niedrigen Ausgangswiderstands (einige 100 Ω) wird die Anodenbasisschaltung häufig als Impedanzwandler eingesetzt, um eine Wechselspannungsquelle hohen Innenwiderstands (z. B. ein piezoelektrisches Mikrofon) ohne Zwischenschalten eines Transformators an eine Übertragungsleitung oder -einrichtung niedrigen Widerstands anzupassen. In Meß-V. und zur Verstärkung kurzer Impulse (z. B. in der Radartechnik) wird die Anodenbasisschaltung ebenfalls verwendet.
1.2. Grundschaltungen von V. mit Transistoren. *Emitterschaltung* (Abb. 3*a*) ist die am meisten verwendete, der Katodenbasisschaltung ähnelnde V.schaltung mit Transistor. (In Anlehnung an 1.1. zu erwartende Bez. wie „Emitter-Basis-Schaltung" usw. werden wegen möglicher Ver-

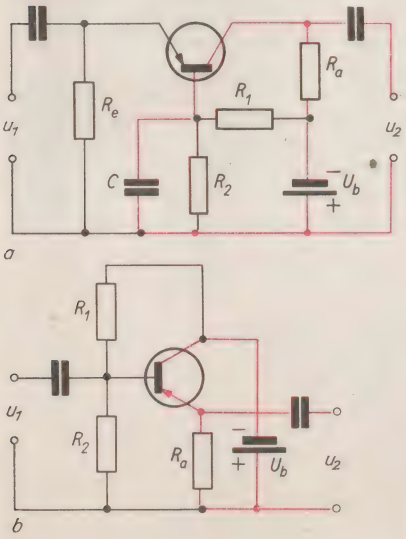


Verstärker, Abb. 3: Emitter- (a) und Sourceschaltung (*b*)

wechslungen mit der Basis eines Transistors nur selten verwendet.) Das Eingangssignal liegt zwischen Basis und Emitter, das Ausgangssignal wird mit Hilfe von R_a zwischen Kollektor und Emitter abgenommen. Mit dem Spannungsteiler R_1/R_2 wird der ↑ Arbeitspunkt des Transistors eingestellt. Im Unterschied zur Katodenbasisschaltung geschieht die Steuerung wegen des über den Emitter-Basis-Übergang fließenden Stroms nicht leistungslos. Neben der Spannungsverstärkung, die Werte nahe $10^3 : 1$ erreichen kann, sind > 100fache Stromverstärkung und demzufolge eine hohe Leistungsverstärkung nutzbar.

Abb. *3b* zeigt die äquivalente Schaltung (*Sourceschaltung*) mit einem *n*-Kanal-MOSFET (↑ Transistor 2.2.). Der Widerstand R_S dient der Gewinnung einer Gate-Vorspannung, die über R_G zugeführt zwischen Gate und Source liegt.

In der Basisschaltung (Abb. *4a*) dient der Spannungsteiler R_1/R_2 der Einstellung des Arbeitspunkts; der Kondensator C hat einen für die zu verstärkende Spannung vernachlässigbar kleinen kapazitiven Widerstand und soll eine Stromgegenkopplung (↑ Gegenkopplung) verhindern. Die Basisschaltung entspricht der Gitterbasisschaltung und wird wie diese häufig zur Verstärkung im UHF-Bereich (vgl. Kanalwähler) eingesetzt. Der Eingangswiderstand ist sehr niedrig (um 100 Ω), die Spannungsverstärkung entspricht derjenigen der Emitterschaltung, während die Stromverstärkung < 1 ist; infolgedessen ist die Leistungsverstärkung geringer als die der Emitterschaltung. Die der Basisschaltung äquivalente Schaltung mit FET heißt *Gateschaltung*.



Verstärker, Abb. *4*: Basis- (*a*) und Kollektorschaltung (*b*)

Die *Kollektorschaltung* (Abb. *4b*) ähnelt der Anodenbasisschaltung. Zur Arbeitspunkteinstellung dient der Spannungsteiler R_1/R_2. Die Stromverstärkung ist groß, die Spannungsverstärkung < 1, woraus sich eine geringere Leistungsverstärkung als durch Emitter- oder Basisschaltung ergibt. Die Kollektorschaltung hat einen niedrigen Ausgangswiderstand (einige 100 Ω) bei hohem Eingangswiderstand und wird daher häufig zur Impedanzwandlung eingesetzt. Ihr Äquivalent mit FET ist die *Drainschaltung*.

2.1. Spannungs-V. sollen bei meist großem Wert von V_u Spannung an einen Verbraucher abgeben, wobei die im Ausgangskreis umgesetzte Leistung gering und i. allg. nebensächlich ist. Sie sind meist Anfangsstufe(n) eines V. und werden daher auch als *Vor-V.* bez. Die Spannungsverstärkung einer Stufe läßt sich für den gewählten Arbeitspunkt mit Hilfe der Kennlinien bzw. der elektrischen Kleinsignalkennwerte der verstärkenden Bauelemente (bei Elektronenröhren Verstärkungsfaktor μ und Innenwiderstand R_i oder Steilheit S und R_i, bei Transistoren h-Parameter h_{11}, h_{12}, h_{21}, h_{22} oder y-Parameter) unter Einbeziehung der Werte der übrigen Bauelemente errechnen. Für die Katodenbasisschaltung z. B. gilt hierbei:

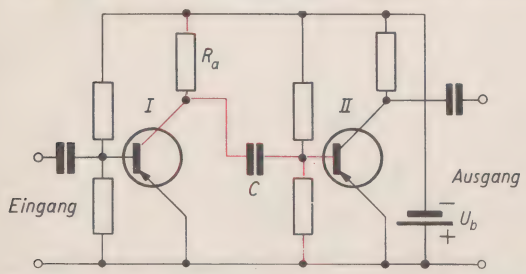
$$V_u = \mu \cdot R_a/(R_i + R_a) = -S \cdot (R_a \cdot R_i)/(R_a + R_i)$$

Das Minuszeichen gibt die Phasenlage der Ausgangs- gegenüber der Eingangsspannung an. Für die Emitterschaltung z. B. gilt:

$$V_u = (-h_{21} \cdot R_a)/(h_{11} + R_a \cdot [h_{11} \cdot h_{22} - h_{21} \cdot h_{12}])$$

Für die Verstärkung im UHF- und VHF-Bereich werden Trioden in Gitterbasisschaltung bzw. Transistoren in Basisschaltung bevorzugt; auch die ↑ Kaskodeschaltung ist gebräuchlich. Für die anderen Frequenzbereiche wählt man meist Pentoden in Katodenbasisschaltung bzw. Transistoren in Emitter- oder Sourceschaltung.

Bei *Widerstand-Kondensator-Kopplung* (auch als *RC-Kopplung* bez., vgl. Abb. *5*) wird die Ausgangsspannung der 1. Stufe am Widerstand R_a abgenommen und bildet über einen Kondensator C, der die Speisespannung der Stufe *I* vom Eingang der Stufe *II* fernhält, die Steuerspannung der Stufe *II*. Der Kondensator soll jedoch den zu verstärkenden Signalen einen möglichst geringen Widerstand entgegensetzen. Andere Kopp-

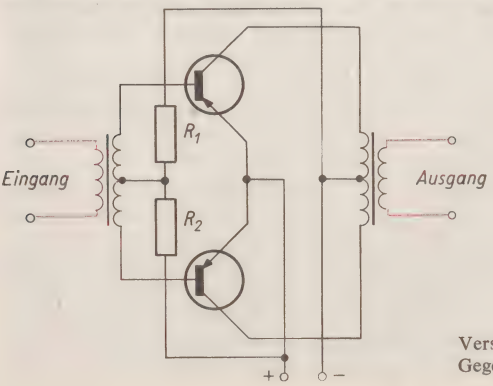


Verstärker, Abb. *5*: Widerstands-Kondensator-(RC-)Kopplung

lungsarten, wie die des Ersatzes von R_a durch eine ↑ Drossel, sind nur noch wenig gebräuchlich. *Galvanische* oder *„direkte" Kopplung* wird vor allem bei Gleichspannungs-V. (s. u.) angewendet. Bei *Transformator-* bzw. *Bandfilterkopplung* (vgl. Abb. 3 bei Neutralisation) zur Verbindung mehrerer V.stufen liegt die Ausgangsspannung der Stufe *I* an der Primärseite, der Eingang der Stufe *II* an der Sekundärseite eines Transformators bzw. Bandfilters (↑ Filter). Das Übersetzungsverhältnis des Transformators oder Bandfilters kann für eine Spannungserhöhung ausgenutzt werden.

Bei mehrstufigen Spannungs-V. multiplizieren sich die Verstärkungen der einzelnen Stufen, wobei eine Gesamtverstärkung bis zum 10^8fachen und darüber erreichbar ist. Die Untergrenze der Amplituden noch verstärkbarer Signale wird durch das ↑ Rauschen bestimmt.

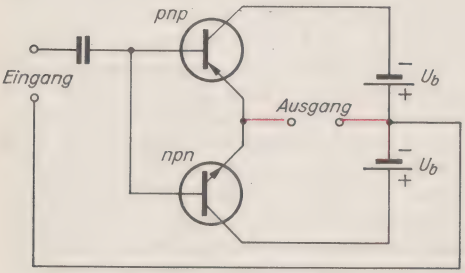
2.2. Leistungs-V. sollen Leistung an einen Verbraucher abgeben, z. B. an eine Sendeantenne oder einen Lautsprecher. Die Spannungsverstärkung ist dabei i. allg. nebensächlich, während ↑ Anpassung, Wirkungsgrad und häufig die Forderung nach geringen nichtlinearen Verzerrungen eine entscheidende Rolle spielen. Da ein Leistungs-V. meist die letzte(n) Stufe(n) einer verstärkenden Einrichtung umfaßt, bez. man ihn auch als *End-V.* Schaltungen wie die der Abb. *1* sind weit verbreitet. Der Außenwiderstand R_a wird dabei durch den Verbraucher dargestellt. Häufig sind bes. Maßnahmen für eine möglichst günstige Leistungsanpassung, z. B. ein Ausgangs-↑ Transformator, erforderlich. Verbreitet als Leistungs-V. sind bes. *Gegentaktverstärkerstufen* (Gegentaktschaltung, Abb. *6*) mit 2 in ihren elektrischen Kennwerten übereinstimmenden, verstärkenden, gegeneinander geschalteten Bauelementen. Diese werden durch um 180° phasenverschobene Eingangssignale gesteuert, die in einem (Eingangs-)Transformator mit Mittelabgriff an der Sekundärseite oder in einer ↑ Phasenumkehrstufe gewonnen werden. Die verstärkten Signale werden durch einen 2. (Ausgangs-)Transformator mit Mittelabgriff an der Primärseite wieder zu einem an der Sekundärseite



Verstärker, Abb. *6*: Gegentaktverstärkerstufe

abnehmbaren Signal vereint. Wichtige Vorteile der Gegentaktverstärkerstufe sind: Sie läßt sich so betreiben, daß die Speiseleistung vom Eingangssignal abhängt, bei geringen Amplituden des Eingangssignals also sehr niedrig ist. In einem Ausgangstransformator mit Kern entfällt eine Vormagnetisierung durch fließenden Ruhestrom, da beide Teile der Primärwicklung in entgegengesetzter Richtung vom Gleichstrom durchflossen werden. Reste einer ↑ Brummspannung in der Speisespannung kompensieren sich teilweise. Geradzahlige ↑ Oberschwingungen heben einander im Ausgang des Gegentakt-V. auf und verringern den ↑ Klirrfaktor.

Bei Anwendung komplementärer Transistoren können Phasenumkehrstufe und Ausgangstransformator mit primärer Mittelanzapfung im Gegentakt-V. entfallen. Die sich in negativer Richtung ändernde Eingangsgröße erhöht den Kollektorstrom des *pnp*- und senkt den des *npn*-Transistors. Änderungen in positiver Richtung haben umgekehrte Wirkung. Die Transistoren werden gegenphasig angesteuert. Durch Parallelschaltung der Ausgänge wird das Signal wieder zusammengefügt (Abb. 7).



Verstärker, Abb. 7: Prinzip einer Gegentaktverstärkerstufe mit komplementären Transistoren

Die Betriebsarten von Leistungs-V. werden nach der Lage des Arbeitspunkts auf der für die Beziehungen zwischen Eingangs- und Ausgangssignal maßgeblichen Kennlinie unterschieden und bez. (Abb. 8). Der Arbeitspunkt des bes. in röhrenbestückten Geräten der Unterhaltungselektronik angewendeten *A-V.* liegt etwa in der Mitte des als annähernd geradlinig anzusehenden Kennlinienabschnitts. Beide Halbwellen einer steuernden Wechselspannung U_g (Kurve *1b*) bzw. eines Wechselstroms werden gleichmäßig verstärkt; die Verzerrungen des Ausgangsstroms I_a (Kurve *1a*) sind gering. Da der A-V. wegen des auch ohne Eingangssignal fließenden Ruhestroms die Speisespannungsquelle belastet, erreicht sein Wirkungsgrad im günstigsten Fall 50 %. Der Arbeitspunkt des *B-V.* liegt am unteren Kennlinienende. Bei fehlendem Eingangssignal fließt nur ein sehr geringer Ruhestrom; die Energieentnahme aus der Speisespannungsquelle richtet sich nach der jeweiligen ↑ Aussteuerung, der Wirkungsgrad erreicht bis 78 %. Von dem Wechselspannungs- bzw. Wechselstromsignal

am V.eingang (Kurve *2b*) wird jeweils nur eine Halbwelle verstärkt (Kurve *2a*), die andere unterdrückt. Um beide Halbwellen am V.ausgang zu erhalten, muß der B-V. als Gegentakt-V. betrieben werden. Er wird häufig in transistorisierten Geräten der Unterhaltungselektronik angewendet. Der *AB-V.* stellt einen Übergang der beiden genannten V.arten dar, und sein Wirkungsgrad liegt auch zwischen deren Werten. Der Arbeitspunkt wird so festgelegt, daß der V. bei geringen Amplituden des Eingangssignals als A-V., bei großen als B-V. arbeitet. Auch der, meist mit Elektronenröhren bestückte, AB-V. wird als Gegentakt-V. ausgeführt. Der Arbeitspunkt des *C-V.* (Kurve *3b*) ist so gewählt, daß bei

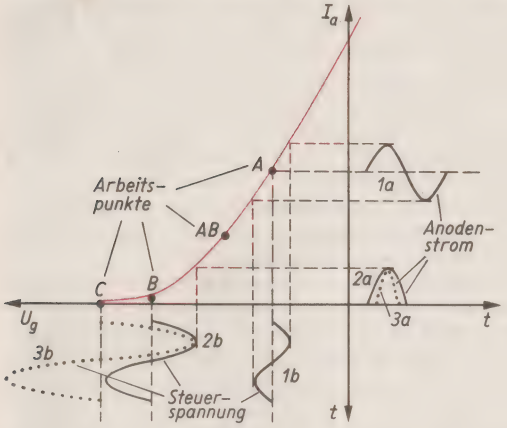


Abb. *8*: Betriebsarten von Leistungs-Verstärkern, dargestellt an der I_a-U_g-Kennlinie einer Elektronenröhre

fehlendem Eingangssignal kein Ruhestrom fließt und der V. jeweils nur während eines Teils einer Halbwelle ausgesteuert wird (Kurve *3a*). Der C-V. ähnelt einem Schalter, der einen Strom mit der Frequenz des steuernden Signals ein- und ausschaltet. Wegen der im Ausgang unvermeidbar auftretenden Verzerrungen ist er für die Verstärkung von Tonfrequenzsignalen nicht geeignet. Sein hoher Wirkungsgrad, bis 95 %, wird z. B. für die Verstärkung von Impulsen und in Sendern ausgenutzt. Vor allem für den NF-Bereich wird der *D-V.* erprobt, der sich ebenfalls durch hohen Wirkungsgrad (95 %) und durch niedrigen Klirrfaktor auszeichnet. Die zu verstärkenden Signale werden in eine Folge von Impulsen zerlegt, deren Breite und Polarität eine Codierung des zu verstärkenden Signals darstellen. Diese Impulse steuern 2 im Gegentakt als Schalter wirkende Transistoren, an deren gemeinsamem Ausgang das Eingangssignal in seiner urspr. Form wiedergewonnen wird. Der D-V. läßt sich bes. raumsparend mit integrierten Schaltungen ausführen. – Leistungs-V.

werden gegenwärtig im Leistungsbereich zwischen wenigen Watt und einigen 100 kW angewendet.

3.1. HF-Verstärker verstärken Spannungen (vor allem in Empfängern) bzw. Leistungen (vor allem in Sendern) mit einer einstellbaren oder festen Frequenz (bzw. innerhalb eines schmalen Frequenzbands, vgl. Zwischenfrequenzverstärker) oberhalb von etwa 20 kHz. Dabei werden am Eingang und bzw. oder am Ausgang einer V.stufe die elektrischen Eigenschaften von ↑ Schwingungskreisen ausgenutzt, an denen eine Steuerspannung der Frequenz des zu verstärkenden Signals entsteht bzw. nach der Verstärkung abgenommen wird. In der Schaltung vorhandene unerwünschte Kapazitäten und Induktivitäten, ferner die durch Eingangs- und Ausgangswiderstände sowie innere Leitwerte der verstärkenden Bauelemente verursachte Dämpfung der Schwingungskreise einerseits und die Möglichkeit einer Selbsterregung durch ↑ Rückkopplung anderseits müssen berücksichtigt werden. HF-V.stufen werden miteinander meist induktiv mit Hilfe eines HF-Transformators bzw. Bandfilters oder kapazitiv durch einen Kondensator gekoppelt, der einen Schwingungskreis am Ausgang der vorausgehenden Stufe mit dem Eingang der folgenden oder den Ausgang der vorausgehenden mit einem Schwingungskreis am Eingang der folgenden verbindet. HF-V. für den Höchstfrequenzbereich enthalten als Schwingungskreise vor allem ↑ Leitungskreise und ↑ Hohlraumresonatoren; neben Elektronenröhren mit Dichtesteuerung und Transistoren werden ↑ Laufzeitröhren, parametrische ↑ Verstärker, Tunneldioden (↑ Diode 2.) und ↑ Maser eingesetzt.

3.2. NF-Verstärker sind Spannungs- oder Leistungs-V. für Frequenzen unter etwa 20 kHz und als *Tonfrequenz-V.* Bestandteil sämtlicher Empfänger mit Schallwiedergabe und elektroakustischer Anlagen. Meist sollen sie ein mehrere Oktaven umfassendes Frequenzband (z. B. von 15 bis 15 000 Hz) bei geringen linearen und nichtlinearen Verzerrungen übertragen.

Für *NF-Spannungs-V.* wird vorwiegend *RC*-Kopplung angewendet. Die Frequenzkurve, d. h. die Darstellung der Ausgangsspannung in Abhängigkeit von der Frequenz bei konstant gehaltener Eingangsspannung, fällt an beiden Enden ab (*lineare Verzerrungen*). Ursache des Abfalls bei niedrigen Frequenzen ist der mit sinkender Frequenz wachsende kapazitive Widerstand des Kopplungskondensators zwischen 2 V.stufen oder am Eingang einer V.stufe; außerdem trägt zum Verstärkungsabfall Gegenkopplung infolge eines in der Katoden- oder Emitterleitung liegenden Widerstands bei, wenn dieser durch einen Kondensator überbrückt ist, dessen kapazitiver Widerstand bei tiefen Frequenzen nicht mehr vernachlässigbar klein ist. Der Abfall bei hohen Frequenzen wird vor allem durch die Elektrodenkapazität des verstärkenden Bauelements und durch Leitungskapazitäten hervorgerufen, deren mit wachsender Frequenz sinkender kapazitiver Widerstand einen Nebenschluß für die zu verstärkenden Signale bedeutet. Bei der in NF-V. meist nur in der Endstufe angewendeten Transformatorkopplung kommt es ebenfalls zu einem

Verstärkungsabfall an den Enden des übertragenen Frequenzbands. Als *Grenzfrequenzen* bez. man diejenigen Frequenzen, bei denen die Verstärkung nur noch $^1/_2\sqrt{2}$ ihres Maximalwerts beträgt. *Nichtlineare Verzerrungen* in NF-Spannungs-V. entstehen in den verstärkenden Bauelementen oder infolge der Vormagnetisierung eines Drossel- oder Transformatorkerns durch einen diese Bauelemente durchfließenden Gleichstrom. Verzerrungen lassen sich durch entspr. Wahl der elektrischen Kennwerte der Bauelemente, durch Korrekturglieder, z. B. aus Kondensatoren oder Widerständen (vgl. Klangregelung), sowie durch frequenzabhängige Gegenkopplung mindern.

Röhrenbestückte *NF-Leistungs-V.* geben ihre Ausgangsleistung i. allg. über einen Ausgangstransformator ab; zur Speisung von Lautsprechern sind jedoch auch Sonderschaltungen ohne Ausgangstransformator bekannt (sog. *eisenlose Endstufe*). Die für die Aussteuerung oft nötige Leistung wird in einer ↑ Treiberstufe gewonnen.

3.3. Breitband-V. sollen Signale innerhalb eines bis zu mehreren 10 MHz breiten Frequenzbands möglichst gleichmäßig verstärken und werden in der Nachrichtentechnik, z. B. als ↑ Videoverstärker, und in der Meßtechnik benötigt. Je nach dem zu verstärkenden Frequenzbereich sind ihre Stufen durch Widerstand-Kondensator-Glieder oder durch Bandfilter bzw. durch gedämpfte Schwingungskreise gekoppelt. Diese sind gegenüber der „Mittenfrequenz" des zu übertragenden Frequenzbands um einen solchen Betrag verstimmt, daß sich für den V. die geforderte Frequenzkurve ergibt. Da die mit einer V.stufe erreichbare Verstärkung mit wachsender Breite des zu übertragenden Frequenzbands sinkt und sich allg. bei V.schaltungen die Verstärkungen der einzelnen Stufen multiplizieren, sind Breitband-V. an sich nur sinnvoll, solange die Verstärkung einer Stufe > 1 ist. Breitband-V. für Frequenzbänder bis 500 MHz Breite und darüber werden als *Ketten-V.* ausgeführt. Ihre verstärkenden Bauelemente sind durch Laufzeitketten (vgl. Verzögerungsleitung) so verbunden, daß sich die einzelnen Verstärkungen addieren und somit auch dann die Gesamtverstärkung > 1 beträgt, wenn die Verstärkung des einzelnen V.glieds < 1 ist.

Da Impulse ein (oft mehrere Megahertz) breites Frequenzband beanspruchen, zählen auch *Impuls-V.* meist zu den Breitband-V.

3.4. Direkt (galvanisch) gekoppelte V. wurden urspr. als *Gleichspannungs-* oder *Gleichstrom-V.* für die Verstärkung kleiner Gleichgrößen oder auch von Wechselgrößen sehr niedriger Frequenz – z. B. in der Meß- und BMSR-Technik – angewendet.

Kondensatoren können, da sie Gleichstrom sperren, nicht als Kopplungselemente verwendet werden. Der Ausgang einer Stufe ist daher direkt mit dem Eingang der folgenden verbunden. Schwankungen der Speisespannungen und zeit- oder temperaturbedingte Änderungen elektrischer Kennwerte der Bauelemente (sog. *Drift*) rufen am V.ausgang gleiche Wirkungen hervor wie Änderungen der Eingangssignale. Daher sind Stabilisierungsmaßnahmen, z. B. Gegenkopplung und Spannungsstabili-

sierung, unerläßlich. Schaltet man 2 in ihren elektrischen Daten möglichst übereinstimmende verstärkende Bauelemente als Gegentaktverstärkerstufen (vgl. S. 387) zusammen, so kann die Drift kompensiert werden. Daneben wurden Spezialschaltungen entwickelt, die sich neben günstigen Betriebsparametern, wie hoher Eingangswiderstand, hohe Stromverstärkung, durch bes. stabiles Verhalten auszeichnen. Zu ihnen zählt z. B. der nach seinem Erfinder benannte *Darlington-V.* (Abb. *9*), eine Kaskadenschaltung aus 2 oder mehr Transistoren, deren Kollektoren sämtlich miteinander verbunden sind.

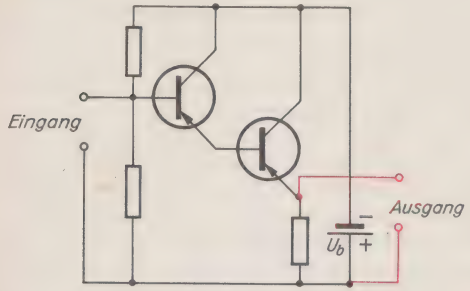


Abb. *9*: Prinzip des Darlington-Verstärkers

Die Bedeutung der direkt gekoppelten V. hat durch die Einführung integrierter Schaltungen rasch zugenommen. Da die Herstellung von Kondensatoren größerer Kapazität in Technologien der Mikroelektronik schwierig ist, wendet man direkte Kopplung zunehmend auch für höhere Frequenzen an. Die integrierten V. (Abb. *10*) enthalten z. B. Transistoren, Widerstände und ihre Verbindungen und können über ihre Anschlüsse und durch Zusatz äußerer Bauelemente vervollständigt und in großer Parameter- und Einsatzbreite variiert werden.

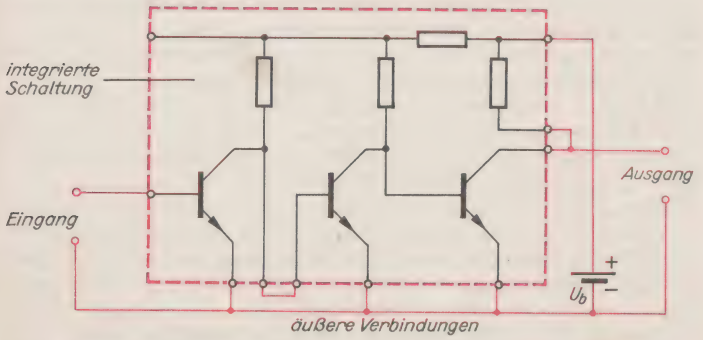
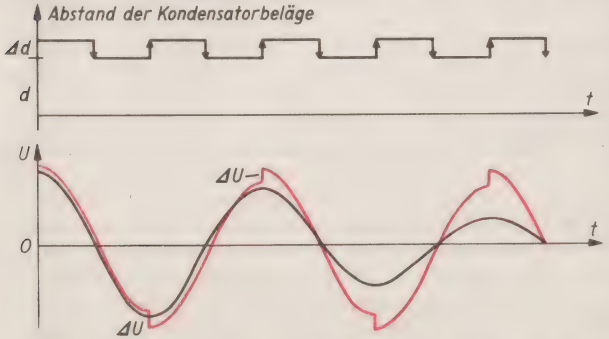


Abb. *10*: Integrierter direkt gekoppelter Verstärker

Operations-V. sind direkt gekoppelte V. hoher Verstärkung und Stabilität, die meist als integrierte Schaltungen, z. B. als Festkörperschaltkreise, ausgeführt sind. Sie enthalten Transistoren, Widerstände und Dioden und sind den Forderungen der Meß- und Regelungstechnik entspr. oft als *Differenz-V.* geschaltet. Diese bestehen aus 2 elektrisch möglichst gleichen V.zweigen, an deren Ausgang die Differenz zweier verstärkter Eingangsgrößen, z. B. einer Soll- und einer Ist-Spannung, auftritt. Durch Zuschalten äußerer Bauelemente oder Schaltungszweige (z. B. Filter, Rück- und Gegenkopplungszweige) lassen sich Operations-V. einzeln oder zu mehreren kombiniert sehr vielseitig einsetzen. Sie dienen u. a. der Durchführung von Rechenoperationen in Analogierechenautomaten sowie als V. in der BMSR-Technik und werden zunehmend in miniaturisierten Nachrichtengeräten eingesetzt.

Verstärker, parametrischer, *Reaktanzverstärker*: Verstärker für den Höchstfrequenzbereich, dessen Funktion darauf beruht, daß einem Schwingungskreis durch periodisches Verändern seiner Kapazität oder Induktivität Energie zugeführt werden kann. Zur Erklärung diene als Modell (Abb.) ein Schwingungskreis mit einem Kondensator, dessen Beläge sich voneinander entfernen oder einander nähern lassen. Der aufgeladene Kondensator ruft durch die Kreisverluste gedämpfte Schwingungen hervor. Wird die Entfernung d der Kondensatorbeläge gerade um Δd vergrößert, wenn die Spannung U am Kondensator ihr Maximum erreicht, dann steigt bei gegebener Ladungsmenge die Kondensatorspannung um ΔU (vgl. Kondensator), dem Kondensator wird Energie zugeführt. Annäherung der Beläge hingegen bedeutet Abnahme von U und damit Energieentzug, ausgenommen, die Annäherung erfolgt genau dann, wenn die Kondensatorspannung durch Null geht (wie in der Abb.). Durch periodisches, phasenrichtiges (Abstandsvergrößerung im Spannungsmaximum, Abstandsverminderung beim Nulldurchgang)



Zur Wirkungsweise des parametrischen Verstärkers: Änderung der Spannung U am Kondensator bei wechselndem Abstand seiner Beläge (*rote* Kurve) im Unterschied zu festem Abstand der Beläge (*schwarze* Kurve)

Entfernen und Nähern der Kondensatorbeläge kann daher Energie in den Schwingungskreis „gepumpt" werden, wobei die Pumpfrequenz im einfachsten Fall doppelt so groß wie die Frequenz im Schwingungskreis ist. Das ist das Arbeitsprinzip des p. V.; denn die Pumpenergie kann so bemessen werden, daß die Verluste im Schwingungskreis nicht nur kompensiert, sondern Schwingungen größerer Amplitude angefacht werden. Durch eine periodische Induktivitätsänderung ist der gleiche Effekt zu erzielen.

Für die technische Realisierung des p. V. scheidet ein mechanisches „Pumpen" aus. Man verändert vielmehr die Schwingungskreiskapazität meist mit Kapazitätsdioden (Varaktoren, ↑ Diode 2.2.), die durch eine (im Unterschied zum Modell sinusförmige) Pumpspannung gesteuert werden. Daraus folgt der grundsätzliche Aufbau eines p. V.: Die zu verstärkende Höchstfrequenz (Signalfrequenz) wird einem Hohlraum oder Koaxialresonator zugeführt, in dem der Varaktor angeordnet ist. Die Pumpenergie wird z. B. durch ein Reflexklystron erzeugt und in den Hohlraumresonator eingekoppelt, an dessen Ausgang die verstärkte Eingangsenergie zur Verfügung steht. Allerdings würden die starre Phasenbindung zwischen Pump- und Signalfrequenz sowie unerwünschte Wechselwirkungen zwischen Signal- und Pumpenergie den Verstärkungsmechanismus empfindlich stören. Man umgeht diese Schwierigkeiten durch einen weiteren angekoppelten Schwingungskreis, den *Ausgleichskreis*. Er ist auf die Summe oder die Differenz von Signal- und Pumpfrequenz abgestimmt und hebt in Wechselwirkung mit beiden die starre Phasenbindung auf. P. V. zeichnen sich aufgrund ihrer geringen Verlustwiderstände schon bei Zimmertemperatur durch nur schwaches Eigenrauschen aus, das sich durch Kühlen (z. B. mit flüssigem Stickstoff) weiter vermindern läßt. P. V. verstärken Bandbreiten bis zu mehreren 10 MHz und werden für dm- und cm-Wellen konstruiert. Man setzt sie vor allem in Empfangsanlagen der Radioastronomie und der Raumfahrt sowie in Radargeräten sehr großer Reichweite ein.

Verstärkerröhre und **Verstärkungsfaktor** ↑ Elektronenröhre.

Verstärkungsregelung ↑ Schwundregelung.

Vertikalendstufe ↑ Ablenkstufe.

Vertikal-Synchronisierimpuls ↑ Fernsehen.

Verzerrung: Veränderungen, die ein Signal in den Übertragungseinrichtungen und auf dem Übertragungsweg erfährt und die sich z. B. bei Tonwiedergabe als Abnahme der Verständlichkeit oder der Wiedergabequalität, bei Bildübertragung als geometrische Verzeichnung bzw. Unschärfe bemerkbar machen. *Lineare V.en* äußern sich in Änderungen des Frequenzgangs (z. B. Benachteiligung bestimmter Teile des von einem Verstärker zu übertragenden Frequenzbands infolge frequenzabhängiger Bauelemente), in Phasen- oder bzw. und Laufzeitänderungen. *Nichtlineare V.en* entstehen in Bauelementen und Schaltungen mit gekrümmten Kennlinien (z. B. Halbleiterbauelementen, Elektronenröhren und Drosseln, die durch fließenden Gleichstrom vormagnetisiert werden),

und zwar als Schwingungen mit Frequenzen, die im urspr. Signal nicht enthalten waren (vgl. Oberschwingung).

Verzögerungsleitung: i. w. S. ein Vierpol zur zeitlichen Verzögerung elektrischer Signale, beruhend auf der endlichen Laufzeit der Signale durch Bauelementeanordnungen oder Medien. V.en i. e. S. sind Stücke einer meist konzentrischen Doppelleitung. Die Verzögerung, die ein Signal beim Durchlaufen eines solchen Stücks erfährt, hängt von der (verteilten) Kapazität und Induktivität je Längeneinheit und von der Leitungslänge ab. *Laufzeitketten* sind elektrische Nachbildungen eines solchen Kabels, die aus zusammengeschalteten Gliedern von Spulen und Kondensatoren bestehen und weniger Raum beanspruchen als normale V.en – Während mit V.en und Laufzeitketten eine Verzögerung von Nanosekunden bis zu wenigen Mikrosekunden erreichbar ist, erfordern größere Verzögerungen, z. B. bis zu mehreren Millisekunden, eine Umwandlung und Rückwandlung der Signale. Das Signal wird z. B. von einem piezoelektrischen Wandler in Ultraschallschwingungen umgewandelt, die mit Schallgeschwindigkeit ein mit Quecksilber gefülltes Rohr durchlaufen und am Ende des Rohrs wieder in ein elektrisches Signal umgesetzt werden. Auch die Magnetostriktion und akustische Oberflächenwellen (↑ Akustoelektronik) werden für den Aufbau solcher V.en benutzt. – V.en werden benötigt, um Koinzidenz oder einen exakt gleichen zeitlichen Abstand von Signalen herzustellen (vgl. Fernsehempfänger). Ein Signal, das vom Ausgang einer V. an den Eingang zurückgeführt wird, durchläuft die V. mehrmals nacheinander und läßt sich so kurzzeitig speichern. Wird eine Laufzeitkette abwechselnd aus einer Stromquelle geladen und durch Kurzschließen entladen, so kann sie zur Impulserzeugung bzw. -formung, z. B. für Radargeräte, eingesetzt werden.

VFO [Abk. für engl. *V*ariable *F*requency *O*scillator, Oszillator veränderbarer Frequenz]: HF-Oszillator, der innerhalb eines gegebenen Frequenzbereichs stetig abgestimmt werden kann; Anwendung bes. als Steuersender für Sender geringer Leistung (z. B. Amateursender).

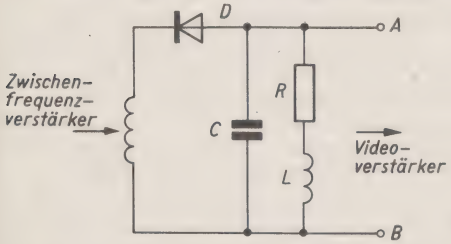
VHF ↑ Frequenzbereiche.

Videodemodulator, *Bildgleichrichter*: Baustufe eines Fernsehempfängers zur Gewinnung des urspr. BAS-Signals (↑ Fernsehen) aus der verstärkten ZF-Spannung durch Demodulation und beim Intercarrierverfahren (↑ Fernsehempfänger) zur Bildung der mit dem Begleitton modulierten *Differenzfrequenz* durch Mischen der Bildträger- mit der frequenzmodulierten Tonträgerspannung (38,9 MHz – 33,4 MHz = 5,5 MHz).

Zur Demodulation (Gleichrichtung) wird eine Halbleiterdiode *D* geringer Eigenkapazität benutzt (andernfalls Nebenschluß der ZF-Spannung). Die demodulierte ZF-Spannung steuert den ↑ Videoverstärker. Der Ladekondensator *C* (vgl. Gleichrichter), dessen Kapazität nur wenige Picofarad beträgt, müßte Reste der ZF-Spannung und ihrer Oberschwingungen kurzschließen, ohne die Spannungen hoher Frequenz des BAS-Signals zu schwächen. Wegen des relativ geringen Frequenzunterschieds zwischen BAS-Signal und ZF (etwa 1 : 8) ist das mit *C* allein nicht zu

erreichen; bei den höheren Frequenzen des BAS-Signals würde sich bereits ein erheblicher Spannungsabfall bemerkbar machen. Er wird durch Anheben der hohen Frequenzen des BAS-Signals kompensiert, z. B. durch eine mit einem Widerstand *R* in Reihe liegende Spule *L*, die zusammen mit *C* einen Schwingungskreis bildet, der den wirksamen Widerstand für die hohen Frequenzen ansteigen läßt und damit dem Spannungsabfall zwischen *A* und *B* entgegenwirkt. Da *C* die Reste der ZF-Spannung und ihrer Oberschwingungen nicht genügend ableitet, werden zwischen V. und Videoverstärker Tiefpaßglieder (↑ Filter) geschaltet.

Ein wichtiger Nebeneffekt im V. ist die additive Mischung von Bildträger- und frequenzmodulierter Tonträgerspannung (eine der beiden Spannungen kann hier als drahtlos übertragene Oszillatorspannung angesehen werden, vgl. Misch-und-Oszillator-Stufe). Die dabei entstehende frequenzmodulierte HF-Spannung der Differenzfrequenz wird zur Gewinnung des Begleittons entweder am V. abgenommen oder (meist) mit dem BAS-Signal dem Videoverstärker zugeleitet. Mitunter sind getrennte Dioden für die Gewinnung des BAS-Signals und der Differenzfrequenz vorgesehen. Vgl. Abb. bei Fernsehempfänger.



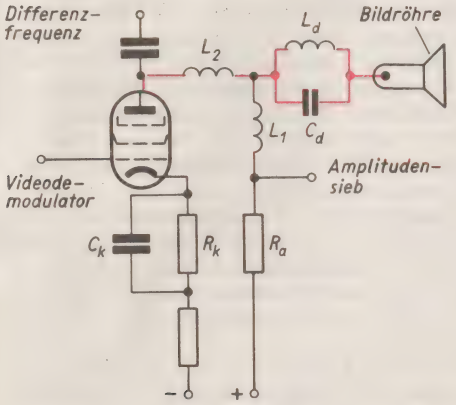
Videodemodulator

Video-Recorder: Magnetbandgerät zur Speicherung von Bild- und meist auch Tonsignalen. V. arbeiten nach zur ↑ Fernsehaufzeichnung üblichen Verfahren und sind unter dem Gesichtspunkt vielseitiger Anwendung und einfacher Bedienbarkeit konstruiert. Das Magnetband ist auf offenen Spulen oder in Kassetten (*Kassetten-V.*) untergebracht. Signalquellen können Fernsehempfänger oder -kameras und Mikrofone sein, die mit dem V. durch Kabel verbunden sind. Die Wiedergabe erfolgt über einen ↑ Monitor oder einen Fernsehempfänger, dessen Antenneneingang das in einen Fernsehkanal transportierte Ausgangssignal des V. zugeführt wird. V. sind meist auch für Zeitlupen- und Standbildwiedergabe sowie nachträgliche Vertonung eingerichtet.

Videotelefon, *Fernsehtelefon*: Fernseh-Fernsprech-Verbindung, deren Gesprächspartner sich sehen können. An beiden Sprechstellen sind je eine Fernsehkamera und ein Bildwiedergabegerät aufgestellt. Die Übertragung der Fernsprech- und Bildsignale erfolgt über Spezialkabel oder Richtfunkstrecken. Verfahren, die (bei geringerer Zeilenzahl) Fern-

sprechleitungen zur Übertragung nutzen, werden erprobt. Das V. ist seit mehr als 30 Jahren bekannt, doch steht seiner allg. Einführung der vorerst hohe technische Aufwand entgegen, zumal für Übermittlung „stehender" Bildvorlagen einfachere Verfahren hoher Bildauflösung und damit Detailwiedergabe bekannt sind. Vgl. Bildfunk.

Videoverstärker, *Bildverstärker*: Breitbandverstärker für die vom ↑ Videodemodulator eines Fernsehempfängers bereitgestellten Signale, insbes. für die Verstärkung der Bildsignale auf einen zur Aussteuerung der Bildröhre hinreichend hohen Spannungswert. V. sind bei Röhrenbestückung meist einstufig, bei Transistorbestückung zweistufig ausgeführt und müssen ein Frequenzband von 0 Hz (der Grundhelligkeit des Bildes entspr.) bis etwa 5 MHz gleichmäßig verstärken. Bei hohen Frequenzen tritt ein Verstärkungsabfall ein, hervorgerufen durch die parallel zum Außenwiderstand von V.röhre bzw. Endstufentransistor wirksamen Kapazitäten, u. a. zwischen der Katode und den übrigen Elektroden der Bildröhre. Dieser Abfall wird z. B. durch frequenzabhängige ↑ Gegenkopplung kompensiert oder bzw. und durch eine in Reihe mit dem Außenwiderstand liegende Induktivität, die mit den ableitenden Kapazitäten einen auf das hohe Ende des Videofrequenzbands abgestimmten



Videoverstärker mit Röhrenbestückung

Schwingungskreis bildet und die Verstärkung anhebt. Um niedrige Frequenzen (langsame Helligkeitsschwankungen) ungeschwächt übertragen zu können, werden Videodemodulator und V. sowie V. und Bildröhre galvanisch gekoppelt (vgl. Verstärker 3.3.). Liegt zwischen Ausgang des V. und der Bildröhrenkatode ein Kondensator, dann werden Grundhelligkeitswerte und langsame Helligkeitsänderungen nicht übertragen. In diesem Fall wird durch eine sog. *Schwarzwertsteuerung* eine Regelspannung gewonnen, mit deren Hilfe die Grundhelligkeit „rekonstruiert" wird.

Das Differenztonsignal zur Gewinnung des Begleittons (↑ Videodemodulator) wird meist an der Anode der V.röhre abgenommen; ein auf die Differenzfrequenz abgestimmter Sperrkreis in der Katodenleitung der Bildröhre verhindert, daß die Differenzfrequenzspannung zur Bildröhre gelangt. Am Ausgang des V. wird außerdem die Spannung für das ↑ Amplitudensieb abgenommen. Über Besonderheiten des V. für Farbfernsehempfänger ↑ Fernsehempfänger 2.

Vidikon ↑ Bildaufnahmeröhre.

Vielkatodenröhre ↑ Dekadenzählröhre.

Vierpol: elektrisches Bauelement oder Schaltung aus Bauelementen mit 2 Eingangs- und 2 Ausgangsanschlüssen (Polen), z. B. Verstärker, Transformatoren, Siebketten, Doppelleitungen (etwa die Zuführung von UKW-Antennen). Ein *aktiver V.* enthält eine Strom- oder Spannungsquelle, ein *passiver V.* nicht. Bei einem *symmetrischen V.* ändern sich nach Vertauschen der Eingangs- und Ausgangsanschlüsse seine elektrischen Eigenschaften nicht. Über Gesetzmäßigkeiten, Verhalten und Zusammenwirken von V.en sagt die *V.theorie* aus. Vgl. Zweipol.

VLF ↑ Frequenzbereiche.

VLP-System ↑ Bildplatte.

Vocoder [von engl. *Voice Coder*, Sprachverschlüssler]: Gerät für die Betriebsart Telefonie, durch das nicht die vom Mikrofon abgegebenen Sprechwechselströme, sondern aus diesen abgeleitete Codesignale über Leitungen oder drahtlos übertragen werden. Mit ihrer Hilfe wird am Empfangsort das Sprachsignal wiedergewonnen. Der V. ermöglicht es, bei Sprachübertragungen mit einem Bruchteil der normalerweise erforderlichen Frequenzbandbreite auszukommen bzw. über eine gegebene Übertragungsstrecke eine weit größere Menge an Informationen zu übermitteln; außerdem ist Geheimhaltung möglich.

Auf der Senderseite wird das Sprachsignal in einem *Analysator* durch Filteranordnungen in z. B. 10 Teilbänder von je 300 Hz Breite zerlegt. Den Filtern nachgeschaltete Gleichrichter liefern Gleichströme, deren Schwankungen ein Maß für die mittlere Energie des betr. Teilbands sind. Diese Schwankungen werden vom Empfänger aufgenommen und steuern in einem *Synthesator* Tonfrequenzgeneratoren. Durch ihr Zusammenwirken entsteht eine „künstliche" Sprache, so daß der persönliche Klangeindruck (z. B. Erkennen einer Stimme) größtenteils verloren geht. Da außerdem der technische Aufwand groß ist, erlangte der V. bis heute für öffentliche Nachrichtendienste keine große Verbreitung.

Sein Prinzip wird auch in EDVA zur ↑ phonetischen Aus- und Eingabe angewendet.

Volladdierer: Schaltung zur vollständigen Addition binärer Zahlen, die auch einen Übertrag aus vorangehenden Stellen berücksichtigt. Vgl. Digitalrechenautomat.

Volumenregler ↑ Funktelefonie.

Vorausanzeige ↑ Radar.

VORDAC und **VORTAC** ↑ Rho-Theta-Verfahren.

VOR-Drehfunkfeuer [Abk. für engl. *V*ery High Frequency *O*mnidirectional *R*ange, etwa UKW-Ortung aus allen Richtungen]: Drehfunkfeuer der Luftfahrt im Frequenzbereich 112 bis 118 MHz und mit einer von der Flughöhe abhängigen Reichweite bis etwa 400 km.

Beim Sender rotiert eine Antenne mit 8förmigem Richtdiagramm, meist ein Dipol, mit einer Drehzahl von 30 s^{-1} um eine senkrechte Achse. Infolgedessen schwankt die Feldstärke am Empfangsort ständig; sie erscheint mit 30 Hz amplitudenmoduliert (↑ Modulation). Gleichzeitig strahlt eine Antenne ungerichtet auf gleicher Frequenz ein mit 30 Hz indirekt moduliertes Signal (s. u.) aus. Beide Antennen bilden eine konstruktive Einheit. Als Strahler ohne Richtwirkung dient meist eine käfigförmige Anordnung, in deren Innern der Dipol rotiert. Das VOR-D. ruft im Bordempfänger 2 NF-Spannungen hervor, und zwar seine ungerichtet strahlende Antenne eine in ihrer Phasenlage von der Richtung zum Sender unabhängige Bezugsspannung, die Richtantenne dagegen eine in der Phasenlage richtungsabhängige Meßspannung. Während in allen Empfängern auf einem Kreis um den Sender die ungerichtete Strahlung ihre Höchst-, Tiefstwerte usw. gleichzeitig durchläuft, tritt das Empfangsmaximum (bzw. -minimum u. a.) für die Strahlung der umlaufenden Antenne bei Drehung im Uhrzeigersinn in einem Empfänger im Norden eher auf als in einem Empfänger im Osten usw. Bezugs- und Meßspannung sind daher gegeneinander phasenverschoben. Das umlaufende Richtdiagramm wird so festgelegt, daß für Empfangsorte nördlich des VOR-D. die Phasendifferenz 0 beträgt, so daß sich aus der gemessenen Phasenverschiebung unmittelbar das Azimut des Empfängers ermitteln läßt.

Würde man die ungerichtete Strahlung direkt mit 30 Hz modulieren, so wäre im Empfänger keine Feststellung der Phasenunterschiede möglich. Deshalb wird der für die ungerichtete Strahlung bestimmte Teil der HF-Energie des Senders mit einem Hilfsträger von etwa 10 kHz amplitudenmoduliert und dieser mit 30 Hz frequenzmoduliert. Gleichzeitig dient der ungerichtete Strahlungsanteil dem Funksprechverkehr Boden-Bord und der Ausstrahlung der jeweiligen *Morsezeichenkennung* des VOR-D.

Im Bordempfänger werden Sprachmodulation, Hilfsträger und richtungsabhängige 30-Hz-Modulation durch Filter voneinander getrennt, aus dem Hilfsträger wird die 30-Hz-Bezugsspannung gewonnen, und Bezugs- und Meßspannung werden einem *Phasendiskriminator* (↑ Demodulation) zugeleitet, der den Phasenunterschied bestimmt sowie daraus Spannungen für die Steuerung des *Azimutanzeigeinstruments* ableitet. Mit einem *Kurswähler* kann außerdem ein Kurs eingestellt werden, unter dem das VOR-D. überflogen werden soll. Ein *Kursanzeigeinstrument*, ähnlich dem Kreuzzeigerinstrument des ↑ Instrumentenlandesystems, gibt an, ob das Flugzeug diesen Kurs hält bzw. ob es nach rechts oder links vom Kurs abweicht. Ein 3. Instrument zeigt, ob sich das Flugzeug im Anflug auf das VOR-D. oder im Abflug davon befindet. Reflexionen in der Nähe der

Sendeantenne können zu Richtungsfehlern führen. Sie werden im *Doppler-VOR-D.* vermindert, indem die ungerichtete HF-Strahlung unmittelbar mit 30 Hz amplitudenmoduliert wird. Mit einer um die VOR-Hilfsträgerfrequenz (etwa 10 kHz) versetzten Frequenz werden zahlreiche (z. B. 39) auf einem Kreis angeordnete Antennen so gespeist, daß in 1 s nacheinander jede Antenne 30mal strahlt. Das hat die gleiche Wirkung, als wenn eine Antenne ständig rotiert. Da sich die Entfernung Antenne-Sender durch diese „Rotation" laufend ändert, tritt infolge des ↑ Doppler-Effekts eine 30-Hz-Frequenzmodulation am Empfängereingang auf, aus der die Meßspannung gewonnen wird.

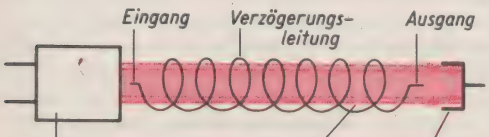
Vorstufe ↑ Superhet.

W

Wachempfänger ↑ Notfunkgerät.

Wafer ↑ Halbleitertechnologie.

Wanderfeldröhre: ↑ Laufzeitröhre bes. zur Verstärkung breiter Frequenzbänder und zur Schwingungserzeugung im cm- und mm-Wellenbereich, die auf dem Energieaustausch zwischen einem Elektronenstrahl und einem sich längs einer Verzögerungsleitung fortbewegenden Höchstfrequenzfeld beruht. Mit einem Strahlerzeugungssystem werden die von der Katode emittierten Elektronen gebündelt und beschleunigt; ein äußeres konstantes Magnetfeld unterstützt Bildung und Zusammenhalt des Strahls. Der gegenüber der Katode positive Kollektor fängt die Elektronen auf, nachdem sie den Innenraum der W. passiert haben. Die zu verstärkende Höchstfrequenzleistung wird der meist wendelförmigen Verzögerungsleitung zugeführt. Durch deren Steigung und durch die Wahl der Elektronengeschwindigkeit wird erreicht, daß die axiale Wandergeschwindigkeit des Höchstfrequenzfelds etwas niedriger ist als die Geschwindigkeit der Elektronen im Strahl. Je nach der örtlich verschiedenen Richtung des Höchstfrequenzfelds werden die Elektronen an dieser Stelle beschleunigt oder verzögert. Es bilden sich, ähnlich wie beim ↑ Klystron, Elektronenpakete, d. h. Verdichtungen im Elektronenstrahl. Sie geben, solange die Elektronen schneller sind als das Höchstfrequenzfeld, Energie an das Feld der Verzögerungsleitung ab und verstärken die am Eingang



Wanderfeldröhre

zugeführte Höchstfrequenzleistung. Werden Aus- und Eingang der Verzögerungsleitung durch eine Rückkopplungsleitung miteinander verbunden, so kann die W. als Schwingungserzeuger arbeiten. Mit W. erreicht man eine $5 \cdot 10^4$ bis 10^5fache Leistungsverstärkung und eine Ausgangsleistung von etwa 10 kW, im Impulsbetrieb bis zu mehreren Megawatt. Eine Sonderform der W. ist die *Elektronenwellenröhre*. Die Aufgabe der Verzögerungsleitung übernimmt hier ein 2. Elektronenstrahl, und der Verstärkereffekt kommt durch die Wechselwirkung der beiden Strahlen zustande. Wegen des sehr niedrigen Wirkungsgrads und ihres erheblichen Rauschens wird die Elektronenwellenröhre jedoch nur sehr wenig eingesetzt.

Wechselrichter: Baustufe oder Aggregat zur Umwandlung von Gleich- in Wechselstrom. Der W. erzeugt durch periodische Steuerung Gleichstromstöße, die in einem Transformator zu Wechselstrom der gewünschten Spannung geformt werden. W. zur Speisung elektronischer Geräte arbeiten mit Halbleiterbauelementen als elektronische Schalter (vgl. Gleichspannungswandler). W. im Bereich der Leistungselektrik sind mit gittergesteuerten Gasentladungsröhren oder Thyristoren ausgestattet. Sie dienen dazu, Energie aus einem Gleichstromnetz in das Wechselstromnetz zurückzugeben (z. B. beim Abbremsen leistungsstarker Gleichstrommotoren) und werden für künftige Hochspannungs-Gleichstromübertragungen unentbehrlich sein.

Wechselsprechverkehr ↑ Sprechfunk.

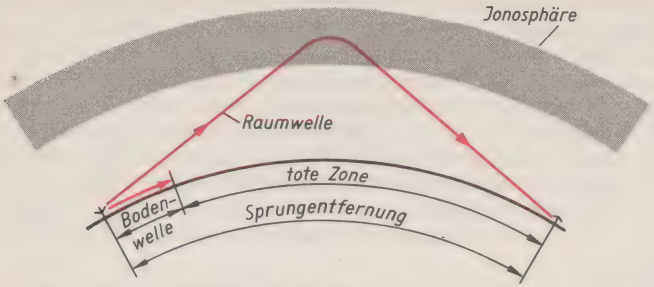
Wehnelt-Zylinder ↑ Elektronenstrahlröhre.

Weißpegel ↑ Fernsehnorm.

Weitverkehrsröhre ↑ Elektronenröhre.

Wellenausbreitung: zusammenfassende Bez. für alle Erscheinungen und Einflüsse, denen Funkwellen auf ihrem Wege vom Sender zum Empfänger ausgesetzt sind und deren Berücksichtigen eine Voraussetzung der drahtlosen Nachrichtenübermittlung ist. Die W. hängt von zahlreichen Faktoren ab, z. B. von der Frequenz, der Erdkrümmung und der Leitfähigkeit des Bodens, von Tages-, Jahreszeit, Sonnenfleckenperiode und Störungen der ↑ Ionosphäre, vom Zustand der Troposphäre, vom erdmagnetischen Feld, von örtlichen Einflüssen, wie Gewittern, u. a. Die Ermittlung exakter Zahlenangaben über die W., vor allem der an einem gegebenen Empfangsort von einem gegebenen Sender zu erwartenden Feldstärke, ist daher sehr schwierig. Doch liefern Näherungsformeln und die Ergebnisse der Ionosphärenforschung hinreichend genaue Werte für Einrichtung und Betrieb von Funkverbindungen.

Bei der von einem Sender ausgehenden Strahlung unterscheidet man Boden- und Raumwelle. Die *Bodenwelle* ist jener Teil der Senderstrahlung, der sich längs der Erdoberfläche ausbreitet. Ihre Reichweite sinkt mit der Wellenlänge und hängt von Leitfähigkeit und Dielektrizitätskonstante des Bodens ab; die Reichweite über Wasser ist z. B. größer als über Land. Die *Raumwelle* ist jener Strahlungsanteil, der vom Sender unter solchen Winkeln abgestrahlt wird, daß die Erdoberfläche keinen



Wellenausbreitung: Raum- und Bodenwelle

Einfluß auf die W. hat. Die Raumwelle ist, da sie unter gewissen Voraussetzungen von der Ionosphäre zur Erdoberfläche zurückgeworfen wird, bes. für Fernverbindungen wichtig.

W. im Längstwellen- und LW-Bereich: Am Tage reicht die Bodenwelle etwa 500 km, nachts bis etwa 10^3 km weit. Die Raumwelle breitet sich, wenig abhängig von Tages- und Jahreszeit, zwischen Erdoberfläche und Ionosphäre ähnlich wie in einem ↑ Wellenleiter aus. Längst- und Langwellen können größte Entfernungen überbrücken. Längstwellen dringen außerdem mehrere 10 m tief in Wasser ein und werden daher u. a. zur Nachrichtenverbindung mit Unterwasserfahrzeugen benutzt.

W. im MW-Bereich: In diesem, bes. für den Hörfunk wichtigen, Bereich breitet sich die Bodenwelle bis in etwa 150 km Entfernung aus. Tagsüber ist sie allein für die W. bestimmend, da die Raumwelle durch die ionosphärische D-Schicht so gedämpft wird, daß sie nicht zur Übertragung beiträgt. Nach Sonnenuntergang gewinnt dagegen die Raumwelle zunehmend an Bedeutung; bis etwa 100 km ist zwar nach wie vor die Bodenwelle für die W. ausschlaggebend, darüber hinaus aber die Raumwelle. Zwischen etwa 50 und 150 km um den Sender tritt durch Interferenz von Raum- und Bodenwelle Nah-↑ Schwund auf. Bis in etwa 400 km Entfernung interferieren Raumwellen miteinander, die den Empfänger auf verschieden langen Wegen über die Ionosphäre erreichen. In noch größerer Entfernung wird der Empfang durch Schwund relativ wenig beeinträchtigt. MW-Sender sind daher bis auf eine Entfernung von mehreren 10^3 km empfangbar.

W. im KW-Bereich: Die Bodenwelle reicht nur wenige 10 km weit (mit zunehmender Frequenz weniger); die für den Funkverkehr wichtige W. geschieht ausschl. über die Ionosphäre. Wellen, die unter geeignetem, von der Frequenz abhängigem Winkel die Ionosphäre erreichen, werden von der E- und vor allem der F-Schicht zur Erdoberfläche zurückgeworfen und erreichen diese in großer, sog. *Sprungentfernung* vom Sender. Durch Reflexion an der Erdoberfläche kann es zu einem zweiten, dritten usw. „Sprung" kommen, wodurch mit Kurzwellen größte Entfernungen bei

relativ geringer Sendeleistung überbrückt werden können. Zwischen Reichweite der Bodenwelle und Rückkehrbereich der Raumwelle erstreckt sich eine empfangslose *tote Zone*, die je nach der Frequenz zwischen einigen 100 km am Tage und mehreren 10^3 km bei Nacht breit ist (Abb.). Da das Verhalten der Ionosphäre einen sehr ausgeprägten Tagesgang zeigt, ist eine 24-h-Verbindung auf einer Frequenz im KW-Fernverkehr i. allg. nicht möglich. KW-Verbindungen werden daher mehrere Frequenzen zugeteilt, unterschieden nach Tag- und Nachtwellen sowie meist zusätzliche Ausweichwellen für den Verkehr unter bes. ionosphärischen Bedingungen. Die W. über die Ionosphäre hat außer der Beeinträchtigung der Übertragung durch ionosphärische Störungen zur Folge, daß Zeichen einen Empfänger auf mehreren Wegen mit teilweise erheblichen Zeitunterschieden erreichen können, z. B. durch Ausbreitung längs der „kurzen" und des „langen" Großkreisweges. Auch umlaufen Signale häufig mehrmals, zwischen Boden und Ionosphäre reflektiert, die Erde und treffen als *Mehrfachzeichen* nacheinander beim Empfänger ein. Telegrafie- und Fernschreibzeichen können dadurch verwischt oder verfälscht werden.

W. im m-, dm- und cm-Wellenbereich: Über 30 MHz erfolgt die W. mit zunehmender Frequenz immer mehr nach optischen Gesetzen. Die direkte Strahlung zwischen Sender und Empfänger wird entscheidend. Die Reichweite ist durch den ↑ Radiohorizont bestimmt.

Die normale Reichweite wird häufig, dabei mitunter stark, überschritten. Ursachen solcher *Überreichweiten* sind: a) Reflexionen an Inversionsschichten, d. h. an Grenzflächen, die durch einen anomalen Temperatur- oder Luftfeuchtigkeitsverlauf in der Troposphäre entstehen (z. B. Aufschieben einer Warmluft- auf eine Kaltluftschicht); b) Mehrfach-Reflexionen z. B. zwischen dem Boden und einer Inversionsschicht oder zwischen 2 Grenzflächen ähnlich wie in einem ↑ Wellenleiter (*Duct-Ausbreitung*); c) Streuerscheinungen (vgl. Streuverbindung); d) gelegentliche ionosphärische Reflexionen. Im cm-Wellenbereich wird die W. durch Dämpfung, hervorgerufen durch Regen, Wasserdampf und atmosphärischen Sauerstoff, teilweise erheblich beeinflußt.

Wellenleiter: aus dielektrischen Substanzen und Leitern bestehende Leitung, die in axialer Richtung gleichbleibenden Querschnitt hat und zur verlustarmen Fortleitung elektromagnetischer Wellen insbes. des m-, dm- und cm-Wellenbereichs dient, z. B. zwischen Antenne und Empfänger oder Sender. W. werden vor allem als symmetrische Doppelleitung (z. B. die für den Anschluß von UKW- und Fernsehempfangsantennen benutzte *Bandleitung*), als ↑ Koaxialkabel, ↑ Hohlleiter, ↑ Mikrowellen-Streifenleitung und als ↑ Goubau-Leitung ausgeführt.

Wellenwiderstand: i. w. S. Kenngröße eines ↑ Vierpols, und zwar das geometrische Mittel aus Leerlauf- und Kurzschlußeingangswiderstand. Der W. i. e. S. ist für eine zweipolige Übertragungsleitung das Verhältnis der sich wellenartig fortpflanzenden komplexen Momentanwerte von Spannung und Strom zueinander. Für den W. (in Ohm) einer als verlust-

frei angenommenen Übertragungsleitung gilt $Z = \sqrt{L/C}$, unabhängig von Frequenz und Leitungslänge. Hierin bedeuten L die Leitungsinduktivität je Längeneinheit in Henry und C die Leitungskapazität je Längeneinheit in Farad. Die Kenntnis von Z, dessen Werte von Werkstoff und Abmessungen der Übertragungsleitung (z. B. UKW-Bandleitung mit $Z = 240\ \Omega$) abhängen, ist wichtig, wenn man über die Leitung die max. Leistung an einen Verbraucher übertragen will (z. B. von einer Fernsehantenne auf den Empfängereingang). Dies ist aber nur möglich, wenn W. und Eingangswiderstand des Verbrauchers übereinstimmen (vgl. Anpassung), andernfalls wird ein Teil der Energie vom Leitungsende zum -anfang reflektiert.

Wetterkartenschreiber ↑ Bildfunk.

Wettersatellit: unbemannter künstlicher Erdsatellit zur Ermittlung und Übertragung meteorologischer Daten, z. B. die Systeme „Meteor" (UdSSR) „ESSA", „ITOS", „NOAA" (USA). W. sind mit Fernsehkameras, IR-Detektoren sowie Sendern und Empfängern ausgerüstet und übermitteln Fernseh- und IR-Aufnahmen der Erdoberfläche und ihrer Wolkenbedeckung sowie Strahlungswerte an Bodenstationen. Sie dienen zunehmend auch der Übermittlung von in einer Hauptstation aufbereiteten Wetterbildern an Benutzer sowie der Abfrage unbemannter Boden-Beobachtungsstationen. Die Übertragung der Bilder zu den Bodenstationen kann nach vorheriger Speicherung an Bord auf Abruf oder in bestimmtem Rhythmus selbsttätig, meist im VHF-Bereich um 137 MHz, erfolgen.

Die Bildaufnahme erfolgt z. B. mit einem Spezial-Vidikon (Zerlegung z. B. in 800 Zeilen); zur Übertragung wird das Bild langsam (z. B. in 200 s) abgetastet und schmalbandig zur Erde gestrahlt. Aufnahmeeinrichtungen auf der Basis von ↑ Ladungsverschiebungsschaltungen werden erprobt. Die von der Bodenstation empfangenen Signale steuern ein nach dem Prinzip des Bildfunks arbeitendes Aufzeichnungsgerät. Die Bahnen der W.en verlaufen z. B. in 1 000 ··· 1 500 km Höhe über den Erdpolen, so daß nacheinander die gesamte Erdoberfläche erfaßt wird. Doch werden auch Synchronsatelliten als W. eingesetzt („METEOSAT" ab 1977).

Whistler ↑ Funkstörungen.

Widerstand: 1. Eigenschaft von Stoffen und Bauelementen, elektrische Ströme nicht ungehindert hindurchfließen zu lassen, gemessen in Ohm. W., für dessen Strom-Spannungs-Verhalten das Ohmsche Gesetz gilt und durch den elektrische Energie in Wärme umgewandelt wird, heißt *Ohmscher W.* Seine Größe hängt vom Material und den Abmessungen des Bauelements o. a. sowie von äußeren Bedingungen, insbes. der Temperatur, ab und ist, von Störeffekten, wie Induktivität, ↑ Skin-Effekt u. a., abgesehen, frequenzunabhängig (über frequenzabhängige W. ↑ Kondensator, Spule, Schwingungskreis). Die Materialabhängigkeit wird durch den *spezifischen W.*, die Temperaturabhängigkeit durch den *Temperaturkoeffizienten* charakterisiert; W.szunahme bei Erwärmung drückt sich

durch positiven, W.sabnahme bei Erwärmung durch negativen Temperaturkoeffizienten aus. Die Strom-Spannungs-Kennlinie Ohmscher oder *linearer W.* ist eine Gerade, die Kennlinien *nichtlinearer W.* (z. B. Varistoren, Thermistoren) verlaufen gekrümmt. *Negative W.* zeigen in bestimmten Kennlinienbereichen ein Sinken des Stroms bei wachsender Spannung; sie werden z. B. zur Schwingungserzeugung benutzt. – 2. Bauelement, mit dem z. B. Spannungen herabgesetzt, Teilspannungen gewonnen, Ströme eingestellt oder begrenzt werden. Wichtigste Kenngrößen des W. sind sein W.swert (in Ohm) und seine Nennverlustleistung (in Watt), die wegen der am W. in Wärme umgesetzten elektrischen Leistung begrenzt ist.

Nicht einstellbare W. werden vor allem als Draht- und Schicht-W. ausgeführt. *Draht-W.* tragen auf einem Keramikkörper eine Wicklung aus W.sdraht (z. B. Konstantan) mit hohem spezifischem W. und niedrigem Temperaturkoeffizienten. Die Wicklung endet an Lötfahnen oder Anschlußschellen und ist häufig durch eine Lack-, Glasur- oder Zementschicht geschützt. Draht-W., von denen bes. geringe Induktivität gefordert wird, erhalten eine ↑ Bifilarwicklung. *Schicht-W.* tragen auf einem Keramikkörper eine Schicht aus W.smaterial, deren Dicke, Fläche, Länge und spezifischer Widerstand den W.swert bestimmen. Die Schichtenden sind mit Anschlußdrähten, Lötfahnen oder Schellen verbunden. Die W.sschicht, häufig durch eine wendelförmig eingeschliffene nichtleitende Bahn zu einer Schraubenlinie verlängert, ist durch einen Lacküberzug geschützt. Nach Material und Herstellungsweise der Schicht unterscheidet man heute *Metallschicht-*, *Glanzkohleschicht-* und *Kolloidschicht-W.*

Bei *veränderbaren W.en*, mitunter auch Potentiometer genannt, können beliebige Teile des Gesamt-W. einer W.sschicht oder -swicklung abgegriffen werden. Sie werden meist als ↑ Spannungsteiler eingesetzt. *Dreh-W.* haben eine kreisbogenförmige gekrümmte W.sschicht oder -swicklung, über die eine mit einer zentralen Einstellachse und einer Anschlußfahne verbundene Kontaktzunge schleift. Ein Metallgehäuse schirmt Schicht und Zunge ab. Drehwinkel und abgegriffener W.swert können in linearem o. a. vorgegebenem (z. B. logarithmischem) Zusammenhang stehen. Häufig werden mehrere Dreh-W. hintereinander angeordnet und mit einer Achse gemeinsam oder durch konzentrische Achsen voneinander unabhängig bedient. Auch die Kombination Dreh-W./Schalter ist verbreitet, wobei der Schalter in einer Endstellung der Kontaktzunge in Aktion tritt (z. B. Lautstärkeregler/Netzschalter in Hörfunkempfängern). Bei *Schiebe-W.en* wird ein Schleifkontakt über die W.swicklung oder -sschicht auf einem Keramikrohr oder Hartpapierträger bewegt. Stufenweise veränderbare W. bestehen aus hintereinander geschalteten Einzel-W.en, von denen je nach Bedarf einer oder mehrere durch Schalter oder Stöpsel abgegriffen werden.

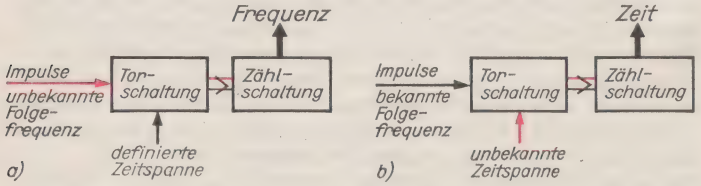
Widerstand-Kondensator-Kopplung ↑ Verstärker 2.1.

Wiedergabekopf ↑ Magnetbandgerät.

Wire-wrap-Technik ↑ Drahtwickeltechnik.
Wirkfläche ↑ Antenne.
Wobblung [von engl. to wobble, zittern]: Sonderfall der Frequenzmodulation (↑ Modulation 2.), bei dem die Frequenz elektrischer Schwingungen innerhalb eines bestimmten Frequenzbands periodisch mit einer wesentlich niedrigeren Frequenz verändert, „gewobbelt", wird. W. wird für raumakustische Messungen und, in Verbindung mit Elektronenstrahloszillographen, z. B. angewendet, um Resonanzkurven von Schwingungskreisen, Durchlaßkurven von Filtern u. ä. auf dem Bildschirm darzustellen. Im militärischen Bereich ist W. eines leistungsfähigen Senders Mittel der Funkgegenwirkung („Wobbelstörungen").

Z

Zählrohr ↑ Detektor 2.
Zählröhre ↑ Dekadenzählröhre.
Zählschaltung: Einrichtung zum Abzählen elektrischer Impulse, zur Anzeige des Zählergebnisses und bzw. oder zur Auslösung von Steuervorgängen (z. B. Stillsetzen einer Verpackungsmaschine) nach vorgegebener Impulszahl. Die meist im ↑ Dualsystem zählenden Z.en enthalten vor allem hintereinandergeschaltete Flip-Flop-Stufen (vgl. Multivibrator). Zur in ↑ Digitalrechenautomaten üblichen binären Tetradenverschlüsselung von Dezimalzahlen genügen 4 hintereinandergeschaltete Flip-Flop-Stufen, die man zusammen als *Zähldekade* oder *Zähler* bez. Es können mehrere solcher Zähldekaden hintereinander angeordnet werden. Über eine Rückstelleitung werden durch Zuführung eines entspr. Impulses die Zähler vor jedem Zählvorgang auf Null gestellt. Wird das letzte Glied einer Z. in geeigneter Weise mit dem ersten verbunden, so entsteht ein *Ringzähler*, in dem eine eingegebene Impulsfolge selbsttätig umläuft und der daher für Speicherzwecke benutzt werden kann.
Die Ergebnisanzeige geschieht über Glimmlampen, Ziffernanzeigeröhren, Leuchtdioden-Tableaus o. ä. Der Aufbau von Z.en wird durch integrierte Bausteine erleichtert, die neben den Flip-Flops auch Schaltungen zur Impulsformung und -verstärkung, zur Ansteuerung der Ergebnisanzeige,



Zählschaltung als Frequenz- (a) und Zeitmesser (b)

zur Abnahme von Steuerimpulsen (s. o.) u. a. enthalten. Wird der Z. eine ↑ Torschaltung vorgesetzt (Abb.), lassen sich bei definierter Öffnungszeit des Tores Impulsfolgefrequenzen bestimmen (Anwendung u. a. zur digitalen Frequenzanzeige von Funkempfängern und -sendern bis in den GHz-Bereich). Liegen Impulse bekannter Impulsfolgefrequenz am Eingang der Torschaltung, deren Öffnen und Schließen durch ein Signal unbekannter Dauer bewirkt wird, kann diese Zeitdauer bestimmt werden. Z.en werden in der BMSR-Technik, der Meßtechnik, im Bereich der Kern- und Strahlungsphysik, in EDVA und zunehmend auch in der Nachrichtentechnik (s. o.) eingesetzt.

Z.en werden häufig mit den für die Steuerung von Ziffernanzeigeeinrichtungen nötigen Codierschaltungen als integrierte Schaltkreise (*Zählerbausteine*) ausgeführt. Sie werden in der BMSR-Technik, in der elektronischen Meßtechnik, beim Bau elektronischer Uhren, im Bereich der Kern- und Strahlungsphysik und in EDVA eingesetzt.

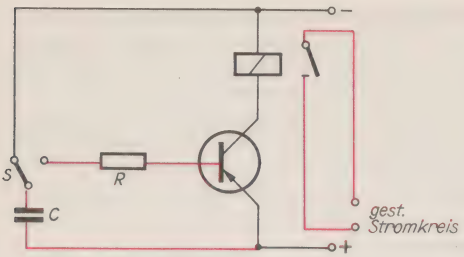
Zeichen/Ziffern-Anzeige: optische Ausgabe alphanumerischer Zeichen mit Hilfe elektrischer und bes. elektronischer Mittel. Die Z. kann über geeignete Ansteuerungsschaltungen geschehen, z. B. durch entspr. Anordnung von Glühlampen oder LED (↑ Diode 2.), ↑ Ziffernanzeigeröhren, ↑ Flüssigkristallanzeigeelemente oder auf Bildschirmen (↑ Datensichtgerät). Die Größe der Zeichen kann je nach Bedarf und benutzten Verfahren zwischen wenigen Millimetern (z. B. Taschenrechner) und Metern (Anzeigetafeln in Sportstätten) liegen.

Zeilensprungverfahren: allg. eingeführte ↑ Abtastung von Fernsehbildern in der Weise, daß erst die ungeradzahligen und anschließend die geradzahligen Zeilen abgetastet werden, das Bild also aus 2 ineinandergeschachtelten Halbbildern besteht. Das Z. setzt das *Bildflimmern* herab: Dem Auge genügt zwar, damit es eine Bewegung kontinuierlich ablaufen sieht, die Vorführung von ≧ 16 Bildern/s; das durch den Bildwechsel verursachte Flimmern wird jedoch erst bei mehr als der doppelten Frequenz nicht mehr als störend empfunden. Da beim Fernsehen jede Erhöhung der Bildwechselzahl die Breite des Fernsehkanals erhöhen würde, täuscht man durch das Z. eine Verdopplung der Bildwechselzahl vor. In den europäischen und in zahlreichen außereuropäischen Ländern werden 25 Bilder/s, d. h. 50 Halbbilder, übertragen (vgl. Fernsehnorm).

Zeilentransformator ↑ Ablenkstufe.

Zeitgeber, elektronischer: Einrichtung, mit deren Hilfe sich Zeitabschnitte wählbarer Länge einmal, mehrmals oder nach einem bestimmten Programm für Schalt-, Steuerungs- oder Meßzwecke abgrenzen lassen. Grundlage für einen e. Z. können die Schwingungen eines Oszillators sein, die nach Aufbereitung (Umformung in Impulse, Frequenzteilung o. a.) einem Zählgerät zugeführt werden, das seinerseits den Schalt-, Steuerungs- oder Meßvorgang auslöst. Häufig wird für e. Z. der Lade- oder Entladevorgang eines Kondensators genutzt.

In der Abb. wird der Kondensator *C* zunächst auf die Betriebsspannung geladen, über Transistor und Relais fließt kein Strom, der gesteuerte



Elektronischer Zeitgeber

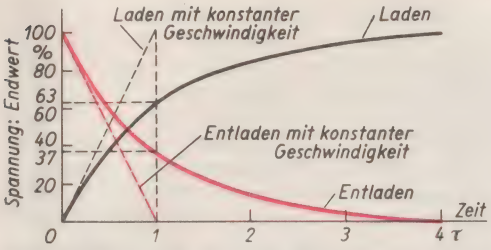
Stromkreis bleibt geöffnet. Nach Betätigen des Umschalters *S* entlädt sich *C* über den Widerstand *R* und den Transistor (Entladegeschwindigkeit durch ↑ Zeitkonstante des *RC*-Glieds bestimmt). Der nunmehr fließende Kollektorstrom erregt das Relais; der gesteuerte Stromkreis wird geschlossen, bis sich bei fortschreitender Entladung von *C* und damit sinkendem Kollektorstrom die Relaiskontakte wieder öffnen. E. Z. werden eingesetzt, wenn Zeitabschnitte genau und frei von subjektiven Fehlern oder selbsttätig in häufiger Wiederholung abgegrenzt werden müssen, z. B. bei der Steuerung von Werkzeugmaschinen, zur Einhaltung von Belichtungs- und Bestrahlungszeiten, zur Betätigung von Meßeinrichtungen in bestimmten Abständen.

Zeitkonstante: Größe zur Kennzeichnung der zeitlichen Änderung einer nach einer e-Funktion steigenden oder fallenden Spannung bzw. eines Stroms. Die Z. (τ) ist die Zeitspanne, innerhalb der bei konstanter Änderungsgeschwindigkeit der Endwert des betr. Vorgangs erreicht würde. Sie entspricht der Zeit, nach deren Ablauf bei zunehmender Größe (z. B. Spannung an einem Kondensator während des Ladens) der $(1\text{-}e^{-1})$-te Teil, d. h. etwa 63 % des Endwerts, bei abfallender Größe (z. B. Spannung an einem Kondensator während des Entladens) der e^{-1}-te Teil, d. h. etwa 37 % des Ausgangswerts, erreicht ist.

Für die bes. häufige Zusammenschaltung eines Kondensators mit einem Widerstand *R* bzw. einer Spule *L* (*RC*- bzw. *LC*-Glied) gelten die Beziehungen: $\tau = RC$, $\tau = L/R$, worin τ in Sekunden, *R* in Ohm, *C* in Farad und *L* in Henry gemessen werden. Nach $4 \cdot \tau$ ist der Endwert bis auf etwa 1,5 % erreicht, der Vorgang also nahezu beendet.

Die Z. ist in allen Schaltungen zu berücksichtigen, in denen Spannungen oder Ströme über *RC*- bzw. *LC*-Glieder weitergeleitet werden. Bei der ↑ Schwundregelung z. B. muß die Z. der Siebglieder so bemessen werden, daß die Regelspannung Änderungen der Eingangsspannung des Empfängers folgt, während die durch die Modulation verursachten Amplitudenänderungen sich nicht auf die Regelspannung auswirken dürfen. In Schaltungen für die Erzeugung, Formung und Übertragung von Impulsen ist die Z. eine entscheidende Größe (vgl. z. B. Sperrschwinger, Multivibrator).

Zeit-Multiplex-System: **1.** ↑ Funkfernschreiben. – **2.** ↑ Modulation 4.



Zeitkonstante: Verlauf der Lade- und Entladespannung eines Kondensators mit vorgeschaltetem Widerstand (RC-Glied)

Zeitteilverfahren [engl. *Time sharing*, Zeit teilen]: Betriebsart einer EDVA, bei der mehrere Benutzer sie gleichzeitig und unabhängig voneinander in Anspruch nehmen können, sie also wesentlich besser ausgenutzt wird. Das Z. arbeitet nach dem Zeit-Multiplex-System und wird häufig zusammen mit ↑ Datenfernübertragung angewendet.

Zener-Effekt ↑ Diode 2.

Zentimeterwellen ↑ Frequenzbereiche.

Zentraleinheit ↑ Digitalrechenautomat.

Zielsuchlenkung ↑ Selbstlenkung.

Zielverfolgung, selbsttätige ↑ Radar.

Ziffernanzeigeröhre, *Glimmanzeigeröhre*: im Bereich der Glimmentladung arbeitende Gasentladungsröhre zur direkten optischen Anzeige von Ziffern o. a. Symbolen, z. B. in elektronischen Zähleinrichtungen, Meßgeräten mit digitaler Anzeige u. a. Jeder Ziffer ist eine ihrer Form entspr. Reinmetallkatode zugeordnet; sämtliche Katoden werden von einer gemeinsamen Anode umschlossen, die zur Beobachtungsseite hin gitterartig ausgeführt ist. Wird durch mechanische oder elektronische Schalteinrichtungen eine Glimmentladung zwischen der Anode und einer Katode gezündet, so glimmt diese deutlich sichtbar. Die Katoden liegen in Blickrichtung dicht hintereinander. Ihre Abmessungen (15 bis 50 mm Zifferngröße) werden durch das Glimmlicht scheinbar vergrößert, so daß jeweils davor liegende, nicht leuchtende Katoden kaum stören. Zu der meist erforderlichen Anzeige mehrstelliger Zahlen kombiniert man eine entspr. Anzahl Z. nebeneinander zu einem Gerät.

Ziffernrechenautomat ↑ Digitalrechenautomat.

Zonenschmelzverfahren ↑ Halbleitertechnologie.

Zündanlage, elektronische: Vorrichtung für Ottomotoren, in der elektronische Baugruppen die Unterbrecherkontakte entlasten bzw. ersetzen und Sicherheit und Effektivität des Zündvorganges erhöhen. In Transistorzündsystemen steuert der Unterbrecher einen Schalttransistor, in dessen Ausgangskreis als Energiespeicher die Primärwicklung der Zündspule liegt. Über die Unterbrecherkontakte fließt nur verhältnismäßig geringer Strom, die Induktivität der Zündspule wirkt sich nicht auf

den Öffnungsfunken aus (vgl. Funkenlöschung). In Thyristorzündsystemen lädt die durch einen ↑ Gleichspannungswandler auf 200 bis 300 V erhöhte Betriebsspannung einen als Energiespeicher dienenden Kondensator. Der vom Unterbrecher gesteuerte Thyristor entlädt ihn periodisch über die Primärwicklung der Zündspule (*Kondensator-*[*Hochspannungs*]*-Zündung*). In „kontaktlosen" e. Z. entfällt der Unterbrecher. Die Steuerimpulse für Transistor bzw. Thyristor werden z. B. durch Magnetplättchen an der Motorwelle gewonnen, die an einer Induktionsspule vorbeilaufen. Auch fotoelektronische Lösungen (z. B. periodische Unterbrechung eines auf einen Fototransistor gerichteten Lichtstrahls) existieren. Vorteile der e. Z. sind lichtbogen- und rückzündungsfreies Zünden in allen Drehzahlbereichen, leichtes Starten, keine Veränderung des einmal eingestellten Zündzeitpunkts durch Kontaktabbrand und eine nicht unerhebliche Kraftstoffeinsparung.

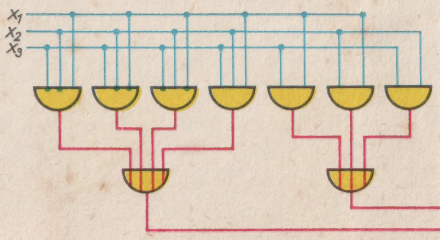
Zündelektrode und **-spannung** ↑ Gasentladungsröhre.

Zweikomponentenschrift ↑ Schallplatte.

Zweipol: elektrisches Bauelement oder Schaltung aus Bauelementen, das bzw. die von außen nur über 2 Anschlüsse (Pole) zugänglich ist. Ein Z., der keine Spannungsquelle enthält, z. B. ein Widerstand oder ein Schwingungskreis, heißt passiv; ein Z. mit Spannungsquellen, z. B. einer Batterie, aktiv. Über Gesetzmäßigkeiten, Verhalten und Zusammenwirken mehrerer Z. sagt die *Z.theorie* aus; man bedient sich dabei häufig der Methode, komplizierte Z. auf einfachere, elektrisch gleichwertige zurückzuführen (vgl. Ersatzschaltung). Vgl. Vierpol.

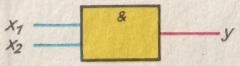
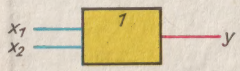
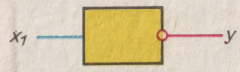
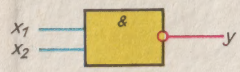
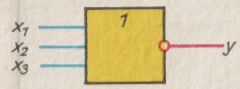
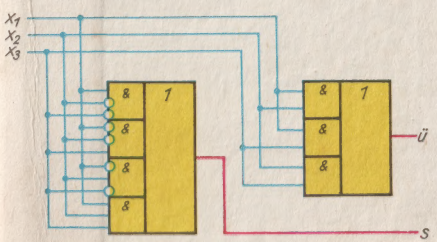
Zwischenfrequenzverstärker: HF-↑ Verstärker, der eine durch ↑ Mischung entstandene Wechselspannung, meist mit fester Frequenz (*Zwischenfrequenz, ZF*), bzw. ein Frequenzband verstärkt, bevor sie weiteren Gerätestufen, etwa einem Demodulator, zugeleitet wird. Die ZF ist i. allg. niedriger als die miteinander gemischten Frequenzen; ihre Größe liegt je nach Verwendungszweck des Z. zwischen einigen 10 kHz und einigen 10 MHz (vgl. Superhet). Der Z. ist ein- oder mehrstufig aufgebaut; zur Kopplung mit vorausgehenden und nachfolgenden Stufen oder der Stufen des Z. untereinander dienen zwei- und mehrkreisige Bandfilter oder auch einzelne Schwingungskreise. Um Rückkopplungserscheinungen zu vermeiden, werden Z. mit rückwirkungsarmen Transistoren oder mit Pentoden bestückt. In Empfängern wird durch Abschirmung des Z. und durch Sperrkreise am Empfängereingang verhindert, daß Sender, die auf der ZF arbeiten, unmittelbar zum Z. vordringen. Bei Rundfunkempfängern verlegt man die ZF in einen wenig beanspruchten Frequenzbereich.

Der Z. wird in Empfängern in die ↑ Schwundregelung einbezogen und enthält oft Möglichkeiten zur Bandbreitenregelung oder hochselektive Filter (z. B. Quarz-, mechanische Filter). Er ist Bestandteil jedes Superhets; darüber hinaus wird er fast immer angewendet, wo HF-Spannungen in einen anderen Frequenzbereich umgesetzt werden, z. B. in Fernsehfrequenzumsetzern, Richtfunkstrecken und Nachrichtensatelliten.

logische Gleichung	bisheriges Schaltbild
$y = x_1 \wedge x_2$ (UND-Funktion)	
$y = x_1 \vee x_2$ (OR-Funktion)	
$y = \overline{x_1}$ (Inverter)	
$y = \overline{x_1 \wedge x_2}$ (NAND-Funktion)	
$y = \overline{x_1 \vee x_2 \vee x_3}$ (NOR-Funktion)	
$s = (x_1 \wedge x_2 \wedge x_3) \vee (x_1 \wedge \overline{x_2} \wedge \overline{x_3}) \vee (\overline{x_1} \wedge \overline{x_2} \wedge x_3) \vee (\overline{x_1} \wedge x_2 \wedge \overline{x_3})$ $\ddot{u} = (x_1 \wedge x_2) \vee (x_1 \wedge x_3) \vee (x_2 \wedge x_3)$ (Volladdierer)	

Hersteller 1 : VEB Funkwerk Erfurt/DDR

Hersteller 2 : VEB Kombinat Halbleiterwerk Frank

gültiges Schaltbild (TGL 16056)	technische Realisierung
	Typ: U 107 D Hersteller: 1 Technologie: MOS (enthält 4 UND-Gatter)
	Typ: KI A II 25 I Hersteller: 3 Technologie: MOS (enthält 4 OR-Gatter)
	Typ: D 204 Hersteller: 2 Technologie: TTL (enthält 6 Inverter)
	Typ: D 100 Hersteller: 2 Technologie: TTL (enthält 4 NAND-Gatter)
	Typ: U 102 D Hersteller: 1 Technologie: MOS (enthält 2 NOR-Gatter)
	Typ: U 101 D Hersteller: 1 Technologie: MOS (enthält 2 Volladdierer)

kfurt/Oder Hersteller 3: SU